



SKRIPSI – TK 141581

**PENGARUH PERUBAHAN SUHU PADA PROPERTI
ADSORPSI DAN DESORPSI *THERMOSENSITIVE*
NIPAM-*co*-DMAAPS GEL**

Oleh:

**Jovanio Bosco Chu Gomes Amaral
NRP. 2311 100 085**

**Desi Ratnasari
NRP. 2311 100 105**

Dosen Pembimbing:

**Dr. Eva Oktavia Ningrum, ST., MS.
NIP. 1984 10 23 2009 12 2009**

**Prida Novarita T., ST., M.T.
NIP. 1983 11 14 2015 04 2002**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



FINAL PROJECT – TK 141581

**EFFECT OF TEMPERATURE CHANGES ION
THE ADSORPTION AND DESORPTION
THERMOSENSITIVE PROPERTY OF
NIPAM-*co*-DMAAPS GEL**

Jovanio Bosco Chu Gomes Amaral
NRP. 2311 100 085

Desi Ratnasari
NRP. 2311 100 105

Academic Supervisor:
Dr. Eva Oktavia Ningrum, ST., MS.
NIP. 1984 10 23 2009 12 2009

Prida Novarita T., ST., M.T.
NIP. 1983 11 14 2015 04 2002

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PERUBAHAN SUHU PADA PROPERTI ADSORPSI DAN DESORPSI *THERMOSENSITIVE* NIPAM-co-DMAAPS GEL

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kimia
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Jovanio Bosco Chu Gomes Amaral
Desi Ratnasari

2311 100 085
2311 100 105

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Eva Oktavia Ningrum, ST., MS.
(Pembimbing I)
2. Prida Novarita Trisanti, ST., M.T.
(Pembimbing II)
3. Dr. Ir. Sumarno, M.Eng
(Penguji I)
4. Dr. Ir. Susianto, DEA
(Penguji II)
5. Hikmatun Nirmah, ST., MS., Ph.D
(Penguji III)



Surabaya,
Januari 2016



PENGARUH PERUBAHAN SUHU PADA PROPERTI ADSORPSI DAN DESORPSI *THERMOSENSITIVE* NIPAM-*co*-DMAAPS GEL

Nama/NRP : 1. Jovanio Bosco C. G. A. 2311 100 085
2. Desi Ratnasari 2311 100 105
Jurusan : Teknik Kimia FTI – ITS
Dosen Pembimbing: 1. Dr. Eva Oktavia Ningrum, ST., MS.
2. Prida Novarita Trisanti, ST., M.T.

ABSTRAK

Gel adsorben yang memiliki kemampuan mengadsorpsi dan mendesorpsi ion secara simultan dengan perubahan suhu (*temperature swing*) dihasilkan melalui reaksi kopolimerisasi radikal bebas antara *N*-isopropylacrylamide (NIPAM), dan *N,N*-dimethyl(acrylamidopropyl)ammonium propane sulfonate (DMAAPS). NIPAM dipergunakan sebagai agen *thermosensitive* dan DMAAPS digunakan sebagai agen pengadsorpsi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh perubahan suhu terhadap properti *swelling*, adsorpsi, dan desorpsi ion pada *thermosensitive* NIPAM-*co*-DMAAPS gel dan hubungan antara properti-properti tersebut. NaNO₃ dipergunakan sebagai larutan uji dalam mempelajari properti *swelling*, adsorpsi, dan desorpsi. Uji *swelling* dilakukan dengan mengukur diameter dari silinder gel pada keadaan kering dan setelah kontak dengan larutan NaNO₃ selama 12 jam. Untuk uji adsorpsi dilakukan dengan memasukkan satu gram *crush* gel ke dalam 20 ml larutan NaNO₃ pada berbagai konsentrasi dan suhu selama 12 jam yang disertai dengan pengadukan. Sedangkan uji desorpsi dilakukan dengan memasukkan gel yang diperoleh pada uji adsorpsi yang telah dikeringkan sebelumnya ke dalam *distilled water* selama 12 jam

pada suhu yang ditetapkan disertai dengan pengadukan. Gel hasil adsorpsi dan desorpsi dipisahkan dari larutannya untuk mendapatkan konsentrasi larutan akhir, kemudian larutan ini dianalisa menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) Dari hasil penelitian diketahui bahwa pada suhu tinggi, adsorpsi ion pada kopolimer gel nilainya rendah namun prosentase desorpsi dan nilai *swelling degree* cenderung tinggi. Nilai dari *swelling degree*, adsorpsi, dan desorpsi ion pada kopolimer gel juga berbanding lurus terhadap konsentrasi larutan NaNO_3 yang digunakan. Berdasarkan hubungan antara properti *swelling* dan adsorpsi dapat disimpulkan bahwa pada nilai *swelling degree* yang rendah, adsorpsi ion pada kopolimer gel menunjukkan nilai yang konstan. Namun dengan meningkatnya nilai *swelling degree*, adsorpsi ion cenderung menurun.

Kata kunci : *thermosensitive*, adsorpsi, desorpsi, *swelling degree*

EFFECT OF TEMPERATURE CHANGES ION THE ADSORPTION AND DESORPTION THERMOSENSITIVE PROPERTY OF NIPAM-*co*-DMAAPS GEL

**Name /NRP : 1. Jovanio Bosco C. G. Amaral 2311 100 085
2. Desi Ratnasari 2311 100 105**

Major : Department of Chemical Engineering

**Supervisor : 1. Dr. Eva Oktavia Ningrum, ST., MS.
2. Prida Novarita Trisanti, ST., M.T.**

ABSTRACT

Adsorbent gels with ability to adsorb and desorb ion simultaneously with temperature swing are synthesized by free radical copolymerization reaction of *N*-isopropylacrylamide (NIPAM) and *N,N*-dimethyl(acrylamidopropyl)ammonium propane sulfonate (DMAAPS). In this study, NIPAM acts as a thermosensitive agent and DMAAPS as an adsorbent agent. The purposes of this research are to investigate the effects of temperature on the swelling, adsorption and desorption behaviors of ion onto thermosensitive NIPAM-*co*-DMAAPS gel, and to study the relationship between these behaviors. NaNO₃ solution was selected as the target solution and used in swelling, adsorption and desorption test. Swelling test was done by measuring diameter of the cylindrical gel after and before immersion in the NaNO₃ solution for 12 hours. Adsorption test was carried out by introducing one gram grinded gels into 20 ml NaNO₃ solution of desired concentration and temperature under stirring for 12 hours. Conversely, desorption test was performed by introducing the gels which were obtained from adsorption experiment and dried previously, into distilled water at the desired temperature and stirred gently for 12 hours. After adsorption and desorption, the gels were removed from the solution by centrifuge in order to measure the residual ion concentration in the solution.

The concentrations of the solutions which were obtained from adsorption and desorption experiment were then analyzed by atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The swelling degree of the gels as measured by using millimeter block. The result revealed that at high temperature, the amount of ion adsorbed by the gels was low. On the contrary, the gel exhibited a high degree of swelling and high amount of ion desorbed by the gel. Moreover, higher concentration of NaNO_3 resulting in the higher value of the swelling degree, adsorption and desorption ability. Based on the relationship between the swelling properties and adsorption properties, it can be concluded that at a lower degree of swelling, the amount of ion adsorbed onto copolymer gel showed a constant value. However, the amount of ion adsorbed decrease with further increasing the swelling degree.

Keywords: thermosensitive, adsorption, desorption, swelling degree

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur ke hadirat Allah SWT penyusun akhirnya dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul:

“PENGARUH PERUBAHAN SUHU PADA PROPERTI ADSORPSI DAN DESORPSI *THERMOSENSITIVE* NIPAM-co-DMAAPS GEL”

Tugas skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk dapat menyelesaikan tugas akhir di Jurusan Teknik Kimia ITS.

Selama penyusunan skripsi ini penyusun banyak sekali mendapatkan bimbingan, dorongan dan bantuan dari banyak pihak. Untuk itu, kami mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu selama penyusunan tugas ini:

1. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Kima FTI – ITS.
2. Setiyo Gunawan, S.T., PhD, selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia FTI –ITS.
3. Bapak Dr.Ir. Sumarno, M.Eng. selaku Kepala Laboratorium Teknologi Material, Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS.
4. Ibu Dr. Eva Oktavia Ningrum, S.T., M.Sc.. selaku dosen pembimbing I dan Ibu Prida Novarita Trisanti, S.T., M.T. sebagai pembimbing II di Laboratorium Teknologi Material, Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS atas segala waktu, bimbingan dan saran yang telah diberikan.
5. Seluruh dosen dan karyawan jurusan Teknik Kimia FTI – ITS atas semua jasa serta bimbingan selama kami kuliah.

6. Bapak dan Ibu yang menjadi inspirator sekaligus motivator dan selalu setia mendampingi dan memberikan dukungan moril.
7. Rekan-rekan Laboratorium Teknologi Material yang telah memberikan motivasi kepada penyusun dan kebersamaannya.
8. Keluarga besar Institut Teknologi Sepuluh Nopember FT-ITS, khususnya teman-teman K-51 NUMERO UNO! atas semangat, dukungan dan kerjasamanya
9. Gengs asrama mahasiswa yang telah memberikan semangat dan do'a.
10. Seluruh pihak yang terkait yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung kami baik dari segi moril maupun materiil.

Kami menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan, oleh karena itu kami sangat mengharapkan saran dan kritik dari semua pihak. Akhirnya kami selaku penyusun mohon maaf kepada semua pihak, apabila dalam penyusunan skripsi ini terdapat kesalahan. Kami berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 20 Januari 2016

Penyusun

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----|
| LEMBAR PENGESAHAN | |
| ABSTRAK | i |
| ABSTRACT | iii |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR TABEL | xi |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| I.1 Latar Belakang | 1 |
| I.2 Perumusan Masalah | 4 |
| I.3 Tujuan Penelitian | 4 |
| I.4 Manfaat Penelitian | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| II.1 Gel | 5 |
| II.2 <i>Polyzwetterions</i> | 11 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | |
| III.1 Bahan Yang Digunakan | 17 |
| III.2 Peralatan Penelitian | 17 |
| III.3 Prosedur Penelitian | 20 |
| III.4 Variabel Penelitian | 22 |
| III.5 karakterisasi Hasil Penelitian | 23 |
| III.6 Blok Diagram Penelitian | 25 |
| BAB IV PENELITIAN DAN PEMBAHASAN | |
| IV.1 Analisa <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR) | 32 |
| IV.2 <i>Swelling Degree</i> NIPAM-co-DMAAPS Gel | 36 |
| IV.3 Analisa <i>Atomic Absorption Spectroscopy</i> (AAS) | 40 |
| IV.4 Uji Adsorpsi/Desorpsi NIPAM-co-DMAAPS Gel | 40 |
| BAB V HASIL KESIMPULAN | |
| V.1 Kesimpulan | 49 |
| V.2 Saran | 49 |

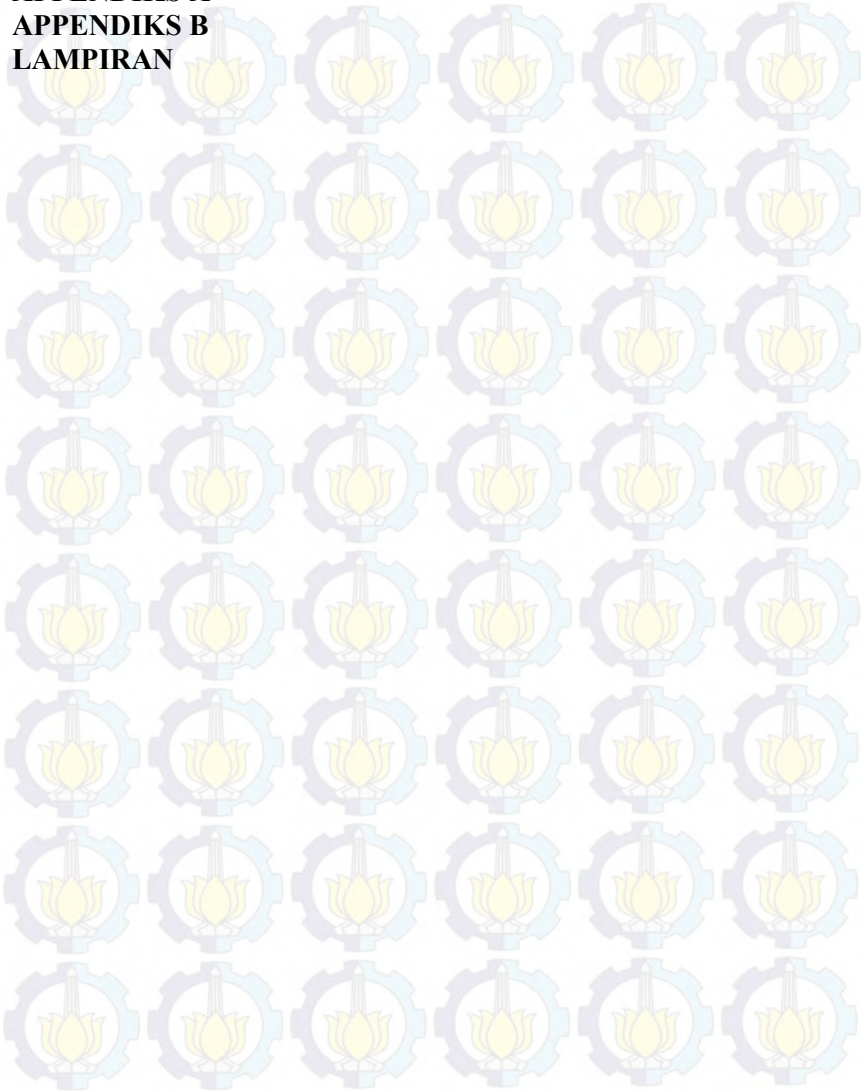
DAFTAR PUSTAKA.....

APPENDIKS A

APPENDIKS B

LAMPIRAN

xiii



DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-----------------------|--|----|
| Gambar II.1.1 | Gambar skematik gel dalam dua fase..... | 5 |
| Gambar II.1.2 | <i>Volume Phase Transition</i> dari gel pada berbagai macam stimulus..... | 6 |
| Gambar II.1.3 | Polimerisasi poly(acrylamide) gel..... | 7 |
| Gambar II.1.4 | Hidrolisis poly(acrylamide) gel..... | 9 |
| Gambar II.1.5 | Tekanan osmotik pada gel..... | 10 |
| Gambar II.2.1 | <i>Intra-grup, intra- dan inter-chain</i> interaksi pada <i>polybetaine</i> | 11 |
| Gambar II.2.2 | Struktur kimia dari DMAAPS..... | 12 |
| Gambar II.2.3 | Struktur kimia <i>lauroyl amino propyl dimethyl carbobetaine</i> | 13 |
| Gambar II.2.4 | Struktur kimia dari <i>2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine</i> | 14 |
| Gambar III.2.1 | Tahapan proses pemurnian DMAPAA..... | 17 |
| Gambar III.2.2 | Tahapan proses pembuatan monomer DMAAPS..... | 18 |
| Gambar III.2.3 | Sketsa pembuatan kopolimer NIPAM-co-DMAAPS gel..... | 19 |
| Gambar III.2.4 | Alat jar test..... | 19 |
| Gambar IV.1.1 | Spektrum infra merah..... | 33 |
| Gambar IV.1.2 | Reaksi pembentukan NIPAM-co-DMAAPS gel..... | 35 |
| Gambar IV.2.1 | Pengaruh waktu terhadap <i>swelling degree</i> NIPAM-co-DMAAPS gel..... | 36 |
| Gambar IV.2.2 | Pengaruh konsentrasi terhadap <i>swelling degree</i> NIPAM-co-DMAAPS gel..... | 37 |
| Gambar IV.2.3 | Pengaruh suhu terhadap <i>swelling degree</i> NIPAM-co-DMAAPS gel..... | 38 |
| Gambar IV.4.1 | Pengaruh waktu terhadap adsorpsi NIPAM-co-DMAAPS gel..... | 41 |
| Gambar IV.4.2 | Pengaruh konsentrasi terhadap adsorpsi NIPAM-co-DMAAPS gel pada berbagai suhu..... | 42 |

| | | |
|----------------------|--|----|
| Gambar IV.4.3 | Pengaruh suhu terhadap adsorpsi NIPAM- <i>co</i> -DMAAPS gel pada (a) berbagai konsentrasi; (b) konsentrasi 5 mmol/L | 43 |
| Gambar IV.4.4 | Pengaruh konsentrasi terhadap adsorpsi NIPAM- <i>co</i> -DMAAPS gel pada berbagai suhu | 44 |
| Gambar IV.4.5 | Pengaruh suhu terhadap desorpsi ion dari NIPAM- <i>co</i> -DMAAPS gel pada berbagai konsentrasi..... | 45 |
| Gambar IV.4.6 | Pengaruh adsorpsi terhadap desorpsi ion dari NIPAM- <i>co</i> -DMAAPS gel berbagai konsentrasi pada suhu (a). 10°C, (b). 30°C, dan (c). 50°C | 46 |
| Gambar IV.4.7 | Hubungan antara <i>swelling degree</i> dan adsorpsi ion pada NIPAM- <i>co</i> -DMAAPS gel..... | 45 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|------------------|--|----|
| Tabel 3.1 | Kondisi Sintesa Kopolimer Gel..... | 16 |
| Tabel 4.1 | Hubungan jumlah kation Na^+ yang terdesorpsi terhadap jumlah kation Na^+ yang teradsorpsi..... | 46 |



BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Perkembangan industri di Indonesia semakin hari semakin meningkat, yang diikuti dengan semakin banyaknya limbah padatan maupun cairan yang dihasilkan. Limbah berupa cairan khususnya yang mengandung logam berat dapat merusak ekosistem perairan dan biota-biota di sekitar lokasi industri. Metode konvensional yang paling umum digunakan dalam pemisahan logam berat dari air limbah hasil industri yaitu presipitasi dan netralisasi (Rubio dkk, 2002). Namun metode ini menghasilkan limbah sekunder berupa *sludge* dengan konsentrasi ion logam berat yang tinggi. Selain metode di atas, penggunaan adsorben yang mengandung ligan seperti *ion-exchange* grup atau *chelating* agen telah dikembangkan sebagai metode alternatif, namun memerlukan biaya operasional yang tinggi (Qdais dkk, 2004). Selain itu, karena interaksi antara ligan pada adsorben dan ion logam berat sangat kuat, maka larutan asam diperlukan untuk meregenerasi ion (Bhat dkk, 2014), sehingga menghasilkan limbah asam sebagai hasil sampingnya. Oleh karena itu, metode adsorpsi dengan menggunakan *thermosensitive* gel khususnya *zwitterionic betaine* lebih baik untuk mengatasi permasalahan di atas karena memiliki gugus anion dan kation pada satu sisi rantai monomer yang sama (Kudaibergenov, 2006) sehingga mampu mengikat baik anion maupun kation pada limbah cairan.

Ada tiga jenis *zwitterionic* polimer yaitu *sulfobetaine*, *phosphobetaine* dan *carboxybetaine* yang terdiri dari *sulfonate*, *phosphate* dan *carboxylate* sebagai grup anionik dan *quaternary ammonium* sebagai grup kationik (Kudaibergenov, 2006). *N,N*-dimethyl(acrylamidopropyl)ammonium propane sulfonate (DMAAPS) merupakan salah satu contoh dari *zwitterionic sulfobetaine* polimer.

Zwitterionic betaine polimer pada umumnya *thermosensitive* di dalam larutan *aqueous*, tidak larut di dalam air

di bawah suhu *Upper Critical Solution Temperature* (UCST) namun larut di atas suhu UCST. Pada suhu di bawah UCST, *zwitterionic* polimer berada dalam kondisi *collapse coil* karena adanya interaksi *intra-* dan/atau *inter-chain*. Namun, pada suhu di atas UCST energi termal dapat mengatasi hambatan dari interaksi *intra-* dan/atau *inter-chain* (Salamone dkk, 1978). UCST *zwitterionic* polimer meningkat dengan adanya kenaikan konsentrasi polimer karena adanya penambahan pada interaksi *intra-* dan/atau *inter-chain* sehingga kenaikan energi termal diperlukan untuk mengatasi interaksi tersebut (Takahashi dkk. 2011). Interaksi antara grup yang bermuatan pada *zwitterionic betaine* dengan larutan *aqueous* juga menentukan properti dari *zwitterionic betaine* (Kudaibergenov, dkk, 2006).

Selama lima dekade terakhir, teknik kopolimerisasi *thermosensitive* polimer dengan menggunakan *zwitterionic* telah dikenal luas sebagai alternatif pada berbagai macam aplikasi seperti biosensor, katalisator, sistem *drug delivery*, dan media separasi (Liu dkk, 2010; Ladd dkk, 2008). Poly(*N*-isopropylacrylamide) [poly(NIPAM)] adalah salah satu contoh *thermosensitive* polimer yang mempunyai suhu transisi atau *Low Critical Solution Temperature* (LCST) sekitar 32°C (Dimitrov dkk, 2007). Di dalam air, poly(NIPAM) gel mengalami *swelling* pada suhu rendah dan *shrinking* pada suhu tinggi karena transisinya dari hidrofilik ke hidrofobik dan memiliki gugus ion bermuatan netral (Li dkk, 1989). Sedangkan *zwitterionic betaine* polimer mengandung gugus anion dan kation pada satu sisi rantai polimer yang sama yang dipisahkan oleh gugus *alkylene* diantara keduanya dan secara keseluruhan bermuatan netral (Kudaibergenov, 2006).

Lee dkk (1994) mensintesa dan meneliti kelarutan *poly(sulfobetaine)* serta pengaruh kation polimer pada properti larutan poly[*N,N*-dimethyl(acrylamidopropyl)ammonium propane sulfonate] (poly(DMAAPS)). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa poly(DMAAPS) tidak terlarut dalam air dan gel menjadi transparan pada larutan *aqueous*. Viskositas poly(DMAAPS) dan

interaksi poly(DMAAPS) untuk mengikat ion logam berat akan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi larutan yang mengandung ion logam berat.

Ningrum dkk (2014) melakukan penelitian tentang hubungan antara properti adsorpsi ion dan *swelling* pada *sulfobetaine* gel. Adsorpsi kation dan anion pada gel DMAAPS pada penelitian ini dipelajari dengan menggunakan larutan NaNO_3 , $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, dan $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jumlah ion Zn^{2+} yang teradsorpsi oleh gel DMAAPS meningkat ketika konsentasi larutan $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, konsentrasi monomer dan *cross-linker* dalam pembuatan gel juga meningkat. Pada konsentrasi monomer dan *cross-linker* yang lebih tinggi, jumlah ion Zn^{2+} yang teradsorpsi oleh DMAAPS gel tidak dipengaruhi oleh peningkatan suhu. Gel yang dibuat dengan konsentrasi monomer dan *cross-linker* yang lebih tinggi menyebabkan jumlah ion Zn^{2+} yang teradsorpsi oleh gel DMAAPS tidak mengalami perubahan dengan meningkatnya suhu. Sebaliknya, jumlah ion Zn^{2+} yang teradsorpsi akan menurun signifikan dengan meningkatnya suhu pada gel dengan konsentrasi monomer dan *cross-linker* yang rendah. Gel memiliki derajat *swelling* yang rendah apabila konsentrasi polimer dalam gel lebih tinggi dari 180 g/L, pada kondisi ini jumlah ion Zn^{2+} yang teradsorpsi tidak mengalami perubahan. Sebaliknya, jumlah ion Zn^{2+} yang teradsorpsi menurun apabila gel memiliki derajat *swelling* yang tinggi atau pada konsentrasi polimer dalam gel lebih rendah dari 180 g/L. Selain itu, pada gel yang memiliki derajat *swelling* yang sama, jumlah ion Zn^{2+} yang teradsorpsi akan meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi dari larutan $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$.

Crowther dkk (1999) melakukan penelitian tentang *de-swelling* partikel mikrogel pada poly(NIPAM) dengan menggunakan *Small-Angle Neutron Scattring* (SANS). Pada penelitian ini digunakan H_2O dan D_2O sebagai larutan pembanding. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *swelling* dari partikel mikrogel poly(NIPAM) berubah dengan adanya

variasi perubahan suhu atau penambahan polimer bebas. LCST poly(NIPAM) pada D₂O lebih tinggi 2°C (34°C) dari H₂O. Hal ini terjadi karena pemutusan rantai polimer pada D₂O lebih baik dari H₂O. Selain itu, pada percobaan SANS menunjukkan bahwa faktor perubahan bentuk *de-swelling* partikel poly(NIPAM) dipengaruhi oleh suhu.

I.2. Perumusan Masalah

Kajian tentang *sulfobetaine zwitterionic* polimer dan gel telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya, namun sebagian besar penelitian di atas hanya menekankan pada sintesa dan properti dari larutan polimer dan gel, Sebagai contohnya *thermosensitive* gel dan *swelling degree*. Di samping itu, penelitian kopolimerisasi NIPAM dengan DMAAPS belum banyak dikembangkan sebelumnya. Selain itu, penelitian mengenai *zwitterionik* gel tanpa kopolimer dengan NIPAM hanya dievaluasi mengenai kemampuan gel untuk mengadsorp ion saja. Oleh karena NIPAM memiliki keunikan yaitu sifat hidrofilik pada suhu rendah dan hidrofobik pada suhu tinggi di dalam air (Li dkk. 1989) sehingga dapat dimanfaatkan dalam desorpsi ion dari kopolimer gel. Oleh sebab itu, penelitian lanjutan tentang kopolimer gel sangat penting dalam mengetahui properti *swelling*, adsorpsi dan desorpsi ion pada DMAAPS-co-NIPAM.

I.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari pengaruh perubahan suhu terhadap properti *swelling*, adsorpsi, dan desorpsi ion pada *thermosensitive* NIPAM-co-DMAAPS gel dan hubungan antara properti-properti tersebut.

I.4. Manfaat Penelitian

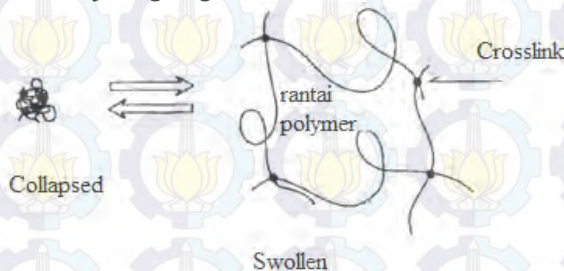
Adapun manfaat penelitian ini adalah mendapatkan adsorben gel yang dihasilkan melalui reaksi kopolimerisasi NIPAM-co-DMAAPS yang mampu mengadsorp dan mendesorpsi ion logam berat secara simultan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Gel

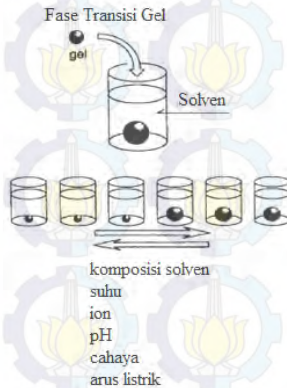
Gel merupakan bentuk *intermediet* dari padatan (*solid*) dan larutan (*liquid*). Gel mengandung polimer atau molekul rantai panjang yang saling berhubung satu dengan lainnya oleh *cross-linker* dan membentuk jaringan berpilin yang terlarut di larutan. Karakteristik dari gel tergantung dari dua komponennya, yaitu solid berupa jaringan dan larutan. Larutan akan mencegah jaringan polimer *collapse* menjadi massa yang padat, sedangkan jaringan menjaga larutan agar tidak keluar dari gel. Gel dapat mempertahankan bentuknya karena *shear modulus* ketika gel tersebut terdeformasi. Modulus gel berasal dari *cross-linking* dari polimer di dalam jaringan gel.



Gambar II.1.1 Skematik gel dalam dua fase yaitu berupa *collapsed* dan *swollen*.

Berbagai macam aplikasi dari gel telah dikembangkan diantaranya *disposable diapers*, *molecular sieve* untuk separasi molekuler antara lain berupa *gel permeation chromatography* (GPC), dan elektroforesis. *Thermosensitive* dan *pH sensitive* gel telah dikembangkan sebagai *drug delivery* sistem, dimana gel mampu melepaskan obat secara bertahap dengan perubahan suhu atau pH larutan. Gel dibagi berdasarkan stimulan yang dapat mengontrol perubahan volume gel tersebut antara lain suhu, pH,

foton, ion, dan arus listrik. Pada umumnya, perubahan kecil stimulus mengakibatkan perubahan signifikan pada volume gel *volume phase transition* (VPT), sehingga kemampuan gel ini banyak dimanfaatkan dalam aplikasi aktuatur maupun sensor, dan alat pengendali. **Gambar II.1.2** memperlihatkan VPT gel yang dipengaruhi berbagai macam stimulus.

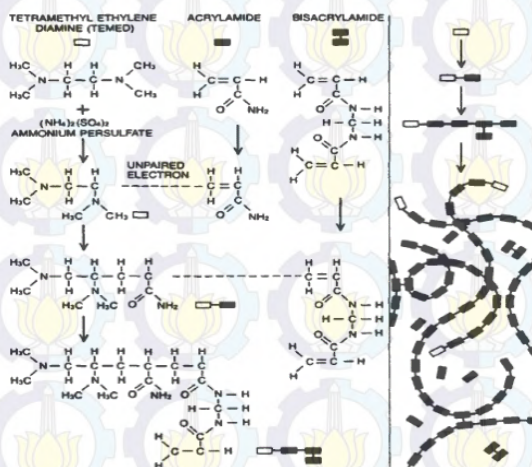


Gambar II.1.2 *Volume Phase Transition* (VPT) dari gel pada berbagai macam stimulus.

Pada tahun 1981 Tanaka memperkenalkan gel dengan matriks polimer yang berasal dari *cross-linked polyacrylamide*. Gel disintesis dengan dua jenis monomer yaitu *acrylamide*, yaitu monomer dari jenis molekul organik dengan gugus akhir gugus *aminocarbonyl* ($-\text{CONH}_2$) dan *bisacrylamide*. *Bisacrylamide* terdiri dari dua monomer *acrylamide* yang terhubung melalui grup aminokarbonil. Dalam penelitian ini, air digunakan sebagai pelarut, dengan inisiator *ammonium persulfate* (APS) dan akselerator *tetramethyl ethylene diamine* (TEMED) yang ditambahkan untuk memulai reaksi polimerisasi.

Ada beberapa tahap dalam sintesa poly(acrylamide), pertama dalam reaksi polimerisasi adalah reaksi antara *ammonium persulfate* dan TEMED dimana molekul TEMED diaktifkan oleh *ammonium persulfate* yang menghasilkan molekul dengan elektron valensi yang tidak berpasangan. Tahap kedua yaitu

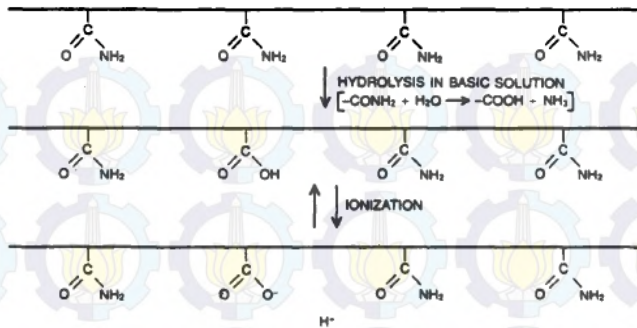
molekul TEMED yang teraktifasi dapat berpasangan dengan monomer *acrylamide* atau *bisacrylamide*. Pada tahap akhir, elektron yang tidak berpasangan bereaksi dengan unit *acrylamide* sehingga menjadi reaktif. Monomer-monomer lainnya dapat pula teraktifasi dengan metode yang sama. Kemudian polimer berkembang menjadi lebih besar sampai persediaan monomer yang ada habis bereaksi dengan pusat aktif dan sisi aktif akan bergeser terus menerus ke ujung rantai menjadi gugus rantai akhir yang bebas. Apabila larutan hanya mengandung monomer *acrylamide*, rantai polimer lurus tanpa adanya percabangan. Sedangkan *bisacrylamide* dapat saling terhubung satu sama lain secara serentak dengan ikatan yang permanen, dan membentuk *poly(acrylamide)* yang tumbuh menjadi jaring kompleks yang tersusun atas simpul dan cabang-cabang. Polimerisasi berjalan selama 30 menit. Setelah beberapa jam *purging*, dilakukan pencucian gel dengan menggunakan *distilled water* untuk menghilangkan sisa monomer atau inisiator yang tidak bereaksi. *Poly(acrylamide)* gel transparan tidak berwarna, sangat elastis, dengan permukaan lembut.



Gambar II.1.3 Polimerisasi Poly(acrylamide) Gel. Polimerisasi gel berlangsung melalui reaksi

antar rantai. Tahap pertama adalah pengaktifan TEMED oleh *ammonium persulfat* yang menghasilkan molekul TEMED dengan elektron valensi yang tidak berpasangan. Tahap kedua yaitu TEMED kemudian berpasangan dengan *acrylamide* yang ikut teraktifasi. Sepanjang rantai *acrylamide* tumbuh, sisi aktif selalu bergeser ke ujung rantai. *Bisacrylamide* mengandung dua unit *acrylamide* berpasangan melalui grup $-CONH_2$ yang menghubungkan dua ujung rantai aktif tersebut, dan berperan sebagai *cross-linker* diantara rantai-rantai polimer.

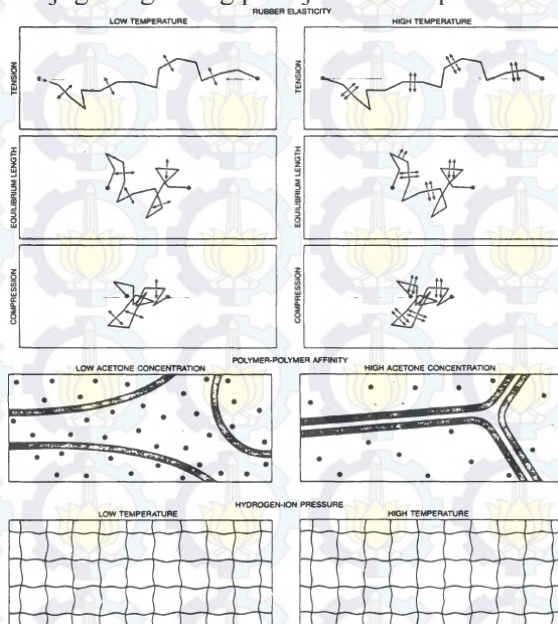
Modifikasi kimia dari jaringan polimer berperan besar dalam perilaku fase transisi dari gel. Pada umumnya, setiap atom karbon mempunyai sebuah *side chain aminocarbonyl* atau $-CONH_2$, yang akan terkonversi menjadi grup karboksil $COOH$ melalui proses hidrolisis. Hidrolisis adalah pemecahan molekul air menjadi kation H^+ dan anion OH^- . Hidrolisis dilakukan dengan mencelupkan gel ke dalam larutan basa dengan pH 12 selama beberapa hari atau minggu. Jumlah *side chain* yang terhidrolisis tergantung pada lamanya waktu hidrolisis. Pada *polyacrylamide* gel hidrolisis mampu mencapai maksimum setelah 60 hari pencelupan dalam larutan basa. Di dalam larutan, beberapa grup karboksil terionisasi secara spontan menjadi ion-ion H^+ dan COO^- . Persentase maksimum grup karboksil yang terionisasi mampu mencapai 25% dari total karboksil di dalam gel *polyacrylamide*. Muatan positif ion hidrogen masuk ke dalam larutan, dan meninggalkan polimer dengan muatan negatif. Interaksi dari dua muatan ini akan menentukan properti fisik dari gel.



Gambar II.1.4 Hidrolisis Poly(acrylamide) Gel. Hidrolisis terjadi di larutan basa (pH 12) dimana grup $-\text{CONH}_2$ dikonversi menjadi grup karboksil ($-\text{COOH}$). Fraksi $-\text{CONH}_2$ yang terkonversi tergantung pada lama waktu hidrolisis dan mencapai maksimum sekitar 25% setelah 60 hari. Grup karboksil yang berperan sebagai asam organik secara spontan terionisasi. Ion hidrogen (H^+) menuju ke larutan dan meninggalkan grup $-\text{COO}^-$ yang membuat polimer bermuatan negatif.

Osmotic Pressure Gel adalah faktor yang menentukan gel untuk mengembang (*swelling*) atau mengkerut (*shrinking*) yang merupakan kombinasi dari tiga komponen yaitu *rubber elasticity*, *polymer-polymer affinity*, dan *hydrogen ion pressure*. *Rubber elasticity* merupakan kemampuan individual polimer untuk menegang (*stretch*) atau menahan tekanan (*compress*). Apabila untai polimer ditarik sampai menegang (*stretch*), pergerakan random dari segmen-segmen memberikan dorongan ujung rantai untuk bergerak ke arah dalam. Sedangkan apabila untai polimer ditekan (*compress*) pergerakan segmen ke arah luar. Jumlah gaya pada tengah rantai polimer menjadi nol karena besarnya gaya dari *rubber elasticity* terhadap suhu absolut. *Polymer affinity* adalah interaksi antara untai *polyacrylamide* dengan solven. Polimer

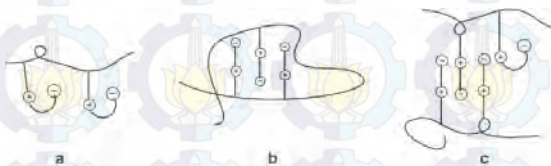
lebih larut di dalam air (titik hitam) dibandingkan dengan *acetone* (warna terang) (**Gambar II.1.5**). Ketika konsentrasi *acetone* tinggi, dua untai polimer dapat menurunkan total energinya dengan cara koagulasi dan mengeluarkan solven dari sela-sela polimer. *Polymer – polymer affinity* selalu bertanda negatif, yang mengakibatkan penyusutan gel, dan naik seiring dengan kenaikan konsentrasi *acetone* namun tidak bergantung besarnya suhu. Faktor yang ketiga adalah *hydrogen-ion pressure*. Di dalam gel, muatan positif dari ion hidrogen dinetralkan oleh muatan positif pada jaringan polimer. Ion tersebut dapat bergerak bebas seperti molekul gas namun terjebak di dalam gel. Gerakan termal adalah acak dan besarnya proporsional terhadap suhu absolut. *Hydrogen-ion pressure* juga tergantung pada jumlah ion pada saat hidrolisis.



Gambar II.1.5 Tekanan osmotik pada gel. Tiga komponen yang menentukan tekanan osmotik pada gel yaitu *rubber elasticity*, *polymer-polymer affinity*, dan *hydrogen-ion pressure*.

II. 2 Polyzwitterionic

Polyzwitterions atau yang biasa disebut dengan *polymeric betaine* merupakan makromolekul yang terdiri dari sejumlah anionik dan kationik yang sama pada unit monomer yang sama. *Zwitterionic betaine* polimer sangat berbeda dari polimer ionik, dimana polimer ionik hanya mengandung grup-grup fungsional bermuatan negatif atau positif saja. *Zwitterionic betaine* polimer juga memiliki daya selektivitas ion karena kemampuannya untuk mengikat ion-ion melalui kedua muatan positif dan negatif (Neagu dkk, 2010; Nesterenko dkk, 1995, 2009). Keunikan karakter dari *zwitterionic betaine* yaitu kemampuan fragmen-fragmennya dalam membentuk sebuah konformasi siklik dari grup anionik kationik yang berdekatan dalam satu rantai polimer (*intra-chain*), atau antar grup anionik kationik dalam satu makromolekul (*inter-chain*), serta konformasi siklik *head-to-tail* dalam satu makromolekul (*intra-grup*) sehingga menghalangi kelarutan *zwitterionic betaine* dalam air (Kudaibergenov dkk, 2006, 2008). Interaksi diatas dipengaruhi oleh fleksibilitas dan panjang *alkylene* yang memisahkan dua muatan yang berlawanan yang juga menentukan solubilitas fase, volume, kemampuan ionisasi dan konformasi *polimer betaine* di dalam larutan *aqueous*.

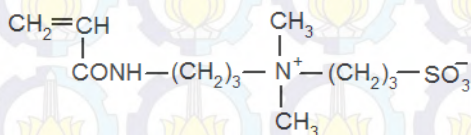


Gambar II.2.1 (a) *Intra-grup*, (b) *intra-chain*, dan (c) *inter-chain* interaksi pada *polybetaine*.

Berdasarkan sifat alami dari grup ionik, *polymeric betaine* dapat dikelompokkan menjadi 3 jenis, yaitu *sulfobetaine*, *phosphobetaine*, dan *carbobetaine*.

1. *Polysulfobetaine*

Polysulfobetaine mengandung *sulfonate* sebagai grup yang bermuatan negatif dan *quaternary ammonium* sebagai grup yang bermuatan positif. *Sulfobetaine* disintesis melalui reaksi alkilsulfonasi dari monomer atau polimer amin tersier dengan *sultone*, sebagai contoh *1,3-propanesultone* or *1,4-butanedisultone*. Pada awal ditemukannya, polimer *betaine* diturunkan dari senyawa sulfo. Struktur kimia dari *polysulfobetaine* juga dapat diturunkan dari beberapa senyawa berikut: *ester* atau *amida* quatener dari asam metakrilat, senyawa *polypyrrolidinium quatener*, ion, dan senyawa *polyvinylpyridinium* atau *polyvinylimidazolium* (Kudaibergenov dkk, 2006). Pada penelitian ini *sulfobetaine* monomer pada NIPAM-co-DMAAPS dipilih sebagai agen pengadsorpsi karena mudah dalam mensintesis, stabil dalam mengadsorpsi ion, tidak dipengaruhi oleh pH, dan menunjukkan properti *thermosensitive* seperti NIPAM dalam larutan *aqueous*. Contoh *sulfobetaine* polimer atau gel adalah *N,N*-dimethyl(acrylamidopropil)ammonium propane sulfonate (DMAAPS) yang ditunjukkan oleh **Gambar II.2.2**.

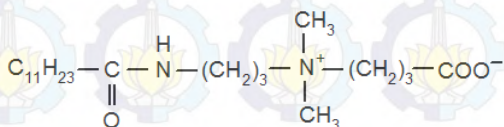


Gambar II.2.2 Struktur kimia dari *N,N*-dimethyl(acrylamidopropil)ammonium propane sulfonate (DMAAPS).

2. *Polycarbobetaine*

Polycarbobetaine mengandung karboksilat sebagai grup yang bermuatan negatif sedangkan *quaternary ammonium* sebagai grup yang bermuatan positif. Struktur kimia *polycarbobetaine* dibagi kedalam tiga grup yaitu: *polyzwitterion* yang diturunkan dari heterosiklik polimer atau senyawa vinil aromatik, *quaternary ester* atau *amide* dari asam

metakrilat dimana *quaternery* nitrogen disubstitusi oleh grup alkoksi dari rantai yang berbeda, dan *quaternery polypyrolidinium* mengandung grup *alkylcarboxy* linear dan bercabang. Kinetika polimerisasi dari *carbobetaine* sangat tergantung pH karena karboksilat mampu terprotonasi pada larutan asam encer. Penambahan NaOH menghasilkan ionisasi grup karboksilat yang mampu mengurangi agregasi interaksi *inter-chain*. Namun dengan penambahan sedikit NaCl pH 12 akan meningkatkan penguraian interaksi *inter-chain* karena turunnya *hydrodynamic radius* dan *molar mass*. Penambahan NaCl secara terus menerus mengakibatkan pengembangan rantai karena terurainya interaksi *intra-chain*, sehingga pada konsentrasi NaCl yang cukup tinggi, masing-masing interaksi *intra-grup*, *intra-chain* dan *inter-chain* juga akan terurai. *Polycarbobetaine* lebih larut di dalam air jika dibandingkan dengan *polysulfobetaine*. Salah satu contoh dari *polycarbobetaine* adalah *lauroyl amino propyl dimethyl carbobetaine* yang ditunjukkan pada **Gambar II.2.3**.



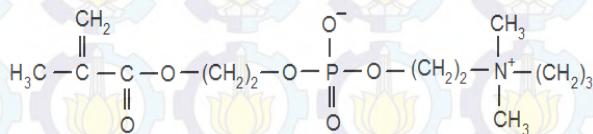
Gambar II.2.3 Struktur kimia lauroyl amino propyl dimethyl carbobetaine

Perbedaan utama antara *polycarbobetaine* dan *polysulfobetaine* adalah tingkat kebasaan, karboksil grup dalam *carbobetaine* lebih basa dibandingkan dengan *sulfonate* grup dalam *polysulfobetaine*. Dengan menurunkan pH larutan *aqueous*, karboksilat grup dapat menjadi non ionik, sedangkan grup *sulfonate* tetap anionik bahkan pada saat pH rendah karena rendahnya pKa. Hal ini mengakibatkan turunnya viskositas *polycarboxybetaine* sampai mencapai minimum dengan transisi dari *polyanion* \leftrightarrow *polyzwitterion* \leftrightarrow *polycation*. Sedangkan pada pH rendah, *polysulfobetaine* tidak dapat

menurunkan viskositasnya karena rendahnya tingkat kebasaan dari grup *sulfonate*.

3. *Polyphosphobetaine*

Polyphosphobetaine mengandung *phosphate* sebagai grup bermuatan negatif dan juga ammonium sebagai grup yang bermuatan positif. Polimerisasi dari *polyphosphobetaine* sebagian besar diaktifasi oleh reaksi inisiasi redok atau fotokimia menjadi polimerisasi radikal bebas. Contoh dari polimer tipe *polyphosphobetaine* adalah 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine (MPC) yang ditunjukkan pada **Gambar II.2.4**.



Gambar II.2.4 Struktur kimia dari 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine (MPC).

Kesulitan utama dalam mensintesis *phosphobetaine* adalah pada penggabungan *phosphatidylcholine* dan *lesitin*. Namun, saat ini telah ditemukan metode yang lebih efektif dalam mensintesis monomer *phosphobetaine vinyl* yaitu melalui reaksi grup OH yang mengandung *methacrylate* atau *methacrylamide* dengan 2-chloro-2-oxo-1,3,2-dioxaphospholane, dan dilanjutkan dengan reaksi *ring opening* dengan trimethylamine yang menghasilkan senyawa yang mengandung *phosphorylcholine*. Polimer berasal kopolimer MPC dengan asam metakrilat banyak diaplikasikan dalam bidang bioteknologi.

BAB III

METODE PENELITIAN

Sintesis *N*-isopropylacrylamide (NIPAM; KJ Chemicals Co., Ltd., Japan) sebagai monomer primer untuk kopolimer gel dipurifikasi dengan metode rekristalisasi gel dengan menggunakan *n*-hexane. Poly *N,N'*-dimethyl(acrylamido propyl)ammonium propane sulfonate (DMAAPS) disintesis dengan menggunakan metode yang ditemukan oleh Lee dan Tsai, yaitu reaksi *ring opening* dari *N,N*-dimethylaminopropylacrylamide (DMPAA; KJ Chemicals Co., Ltd., Japan) and 1,3-propanesultone (PS; Tokyo Chemical Industry Co., Ltd., Japan). Campuran larutan dari PS (75 g) dan acetonitrile (75 g) ditambahkan tetes demi tetes ke dalam larutan campuran DMPAA (100 g) dan acetonitrile (200 g) dengan pengadukan selama 90 menit pada suhu 30°C. Pengadukan dilanjutkan sampai 16 jam, kemudian dicuci dengan acetone dan larutan diatas dibiarkan pada suhu kamar selama 2 hari. Kristal putih yang terbentuk kemudian difiltrasi dan dicuci lagi dengan 500 mL acetone, lalu dikeringkan pada *vacuum oven* kurang lebih selama 24 jam.

Sedangkan kopolimer (NIPAM-co-DMAAPS) gel disintesis melalui reaksi polimerisasi radikal bebas. Pertama-tama NIPAM, DMAAPS, MBAA dan TEMED dilarutkan kedalam distilled water hingga volume larutan total mencapai 100 mL. Larutan monomer ini kemudian dituangkan ke dalam *separable flask* berleher empat. Larutan di-*purging* dengan menggunakan nitrogen gas untuk menghilangkan oksigen terlarut selama 10 menit, kemudian larutan APS sebanyak 20 mL yang telah di-*purging* sebelumnya ditambahkan ke dalam larutan monomer. Reaksi polimerisasi berlangsung selama 6 jam pada suhu 15°C dengan tetap mengalirkan nitrogen gas selama reaksi berlangsung. Kondisi sintesa kopolimer gel dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.1. Kondisi sintesa kopolimer gel

| | | Konsentrasi (mmol/L) |
|---------------|--|-------------------------|
| Monomer | <i>N,N</i> -dimethyl(acrylamidopropyl) ammonium propane sulfonate (DMAAPS) | 900 |
| | <i>N</i> -isopropylacrylamide (NIPAM) | 100 |
| <i>Linker</i> | <i>N,N'</i> -methylenebisacrylamide (MBAA) | 30 |
| Akselerator | <i>N,N,N',N'</i> -tetramethylenediamine (TEMED) | 10 |
| Inisiator | Ammonium peroxodisulfate | 2 |

Untuk mendapatkan silinder gel, sintesis gel dilakukan di dalam *separable flask* leher empat dengan menempatkan gelas *tube* berukuran 2 mm (dia) dan 30 mm (p). Reaksi pembentukan gel berlangsung kurang lebih selama 30 detik, dan setelah reaksi polimerisasi selesai gel yang terbentuk di dalam *glass tubes* dipotong dengan panjang 2 mm. NIPAM-co-DMAAPS gel kemudian dicuci dengan *distilled water* dan dikeringkan secara perlahan selama beberapa hari pada kertas teflon yang dihamparkan pada *petridish*. *Petridish* ditutupi dengan *plastic film* yang telah diberi lubang-lubang kecil untuk mengurangi penguapan. Hal ini ditujukan untuk mencegah keretakan gel dengan menurunkan laju pengeringannya. Produk gel yang lain dipotong-potong dengan ukuran kecil, dicuci, dan dikeringkan di dalam *oven*. Selanjutnya gel yang telah kering di-*mixer* dan diayak untuk mendapatkan ukuran ≥ 180 mesh. Gel berbentuk silinder digunakan dalam uji *swelling*, sedangkan gel dengan ukuran ≥ 180 mesh diperlukan dalam uji adsorpsi dan desorpsi anion dan kation pada kopolimer gel menggunakan analisa AAS.

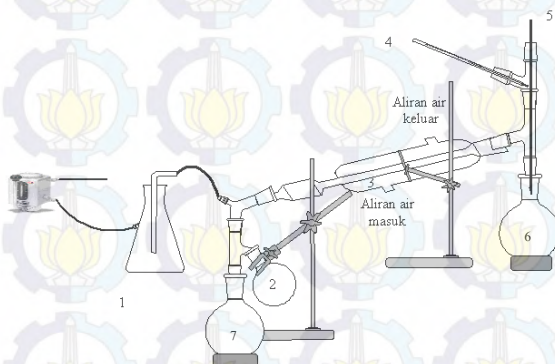
III.1 Bahan Yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan antara lain:

1. Monomer : *N*-isopropylacrylamide (NIPAM) dan *N,N*-dimethyl(acrylamidopropyl) ammonium propane sulfonate (DMAAPS)
2. Linker : *N,N'*-methylenebisacrylamide (MBAA)
3. Akselerator : *N,N,N',N'*-tetramethylethylenediamine (TEMED)
4. Inisiator : Ammonium peroxodisulfate (APS)
5. *N,N*-dimethylaminopropylacrylamide (DMAPAA)
6. 1,3-propanesultone (PS)
7. Acetonitrile
8. Acetone
9. Hexane
10. *Distilled water*
11. Larutan NaNO_3

III.2 Peralatan Penelitian

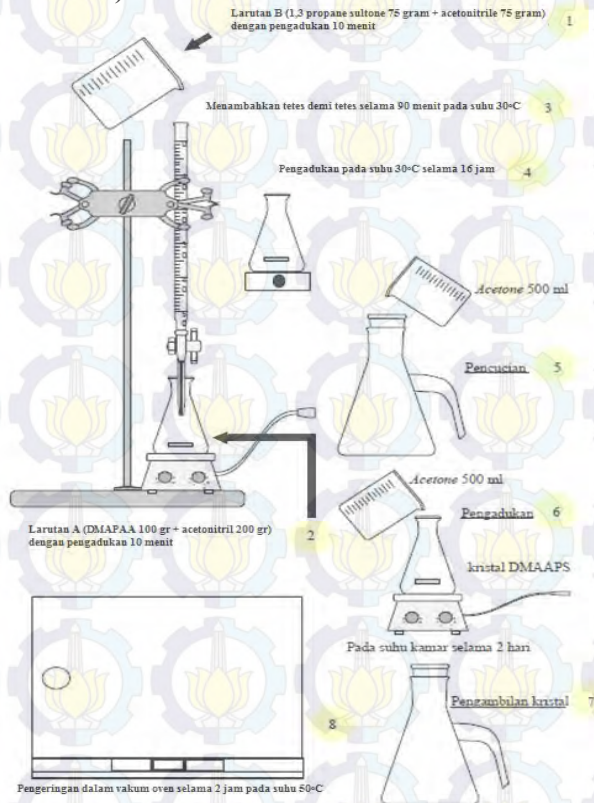
1. Pemurnian *N,N*-dimethylaminopropylacrylamide (DMAPAA)



Gambar III.2.1 Tahapan proses pemurnian *N,N*-dimethylaminopropylacrylamide (DMAPAA)

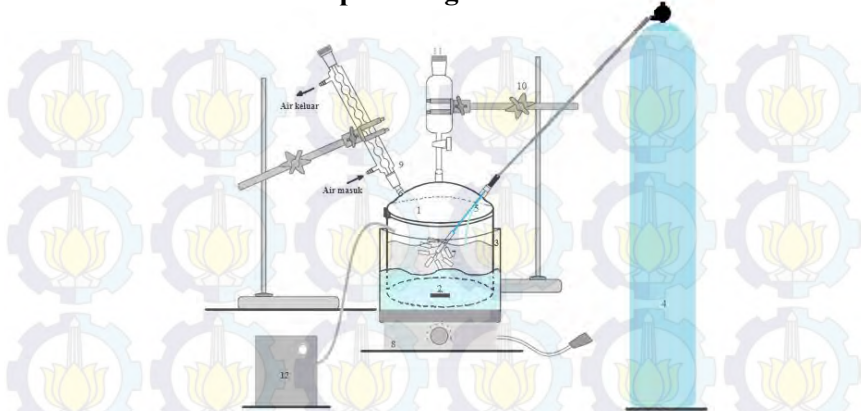
1. Pompa vakum
2. Labu
3. Kondensor
4. Thermometer
5. *Pipate glass* yang diperuncing
6. Labu distilasi
7. Labu penampung distilat

2. Pembuatan monomer *N,N*-dimethyl (acrylamidopropyl) ammonium propane sulfonate (DMAAPS)



Gambar III.2.2 Tahapan proses pembuatan monomer *N,N*-dimethyl(acrylamidopropyl) ammonium propane sulfonate (DMAAPS)

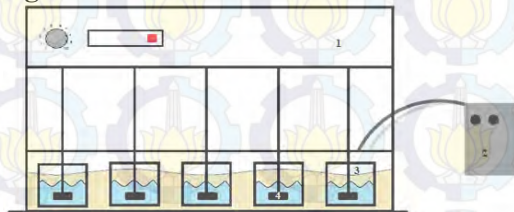
3. Pembuatan kopolimer gel NIPAM-*co*-DMAAPS



Gambar III.2.3 Sketsa pembuatan kopolimer gel NIPAM-*co*-DMAAPS

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| 1. Reaktor polimerisasi | 7. Glass tube |
| 2. Magnetic stirrer | 8. Stirrer |
| 3. Water bath | 9. Kondensor |
| 4. Tabung N ₂ | 10. Statif dan klem holder |
| 5. N ₂ Inlet | 11. Inlet inisiator |
| 6. Gas Outlet | 12. Pompa cooler |

4. Rangkaian Peralatan *Jar Test*



Gambar III.2.4 Gambaran peralatan untuk *jar test*

- | | |
|--------------------|-------------|
| 1. Motor penggerak | 3. Gelas |
| 2. Cooler | 4. Pengaduk |

III.3 Prosedur Penelitian

III.3.1 Prosedur Pelaksanaan Untuk Sintesis Kopolimer Gel

1. Pemurnian *N,N*-dimethylaminopropylacrylamide (DMPAA)

1. Persiapkan DMPAA sebanyak 2×450 mL.
2. Masukkan kedalam labu leher 2.
3. Tambahkan 4-methoxyphenol sebanyak 0.5 gram kedalam larutan DMPAA.
4. Distilasi DMPAA sehingga diperoleh produk ekstrak DMPAA yang berwarna kuning transparan.
5. Produk *raffinate* sebagai residu berwarna kuning pekat.

2. Pembuatan monomer *N,N*-dimethyl (acrylamidopropyl) ammonium propane sulfonate (DMAAPS)

1. Mempersiapkan DMPAA 100 gram dan acetonitril 200 gram, kemudian mencampurkan kedua komponen dan mengaduk selama 10 menit.
2. Mempersiapkan 1,3-propane sultone 75 gram dan acetonitril 75 gram, kemudian mencampurkan kedua komponen dan mengaduk selama 10 menit.
3. Menambahkan tetes demi tetes larutan PS kedalam larutan DMPAA selama 90 menit pada suhu 30°C dengan pengadukan.
4. Lanjutkan pengadukan pada suhu 30°C sampai 16 jam.
5. Produk presipitasi kristal DMAAPS kemudian dicuci dengan acetone 500 mL.
6. Menambahkan lagi acetone 500 mL pada produk kristal DMAAPS dan melakukan pengadukan lagi pada suhu kamar selama 2 hari.
7. DMAAPS dipisahkan dari larutannya menggunakan *vacuum filter*.
8. Produk DMAAPS kemudian dikeringkan dalam *vacuum oven* selama 2 jam pada suhu 50°C .
9. Produk monomer DMAAPS siap dipergunakan untuk pembuatan kopolimer gel.

3. Pemurnian monomer *N*-isopropylacrylamide (NIPAM)

1. Persiapkan benzene sebagai solven untuk NIPAM sebanyak 510 mL.
2. Persipkan NIPAM sebanyak 300 gram.
3. Persiapkan hexane (non solven untuk NIPAM) sebanyak $10 \times$ dari total larutan (NIPAM+benzene) sebanyak kurang lebih 5 liter.
4. Persiapkan 6 buah erlenmeyer berukuran masing-masing 1000 mL.
5. Campurkan benzene dan NIPAM dengan pengadukan sampai NIPAM terlarut homogen.
6. Bagi larutan NIPAM+benzene kedalam 6 buah erlenmeyer yang telah dipersiapkan sebelumnya.
7. Tambahkan hexane kedalam erlenmeyer tersebut sehingga total larutan NIPAM+benzene+hexane sebanyak kurang lebih 1 liter.
8. Tutup erlenmeyer dengan plastik film dan masukkan ke dalam almari pendingin selama 1 hari.
9. Produk kristal NIPAM yang diperoleh kemudian dipisahkan dengan *vacuum filter*.
10. Produk kristal NIPAM kemudian dikeringkan kedalam *vacuum oven* selama 2 jam pada suhu 50°C.
11. Produk monomer NIPAM siap dipergunakan untuk pembuatan kopolimer gel.

4. Pembuatan kopolimer gel NIPAM-co-DMAAPS

1. Mempersiapkan monomer DMAAPS dan NIPAM dengan total konsentrasi 1000 mmol/L (total volume larutan 120 mL).
2. Menambahkan *cross-linker* MBAA 30 mmol/L dan akselerator TEMED 10 mmol/L.
3. Larutkan kedalam *distilled water* dengan total volume 100 mL sehingga diperoleh larutan A.
4. Masukkan larutan kedalam labu leher empat dengan suhu 15°C.

5. *Purging* menggunakan gas N_2 dengan *flowrate* (500 mL/min).
6. *Stirrer* selama 10 menit dengan kecepatan tinggi untuk menghomogenkan larutan.
7. Setelah 10 menit, persiapkan inisiator APS 2 mmol/L dalam 20 mL *distilled water*.
8. Masukkan ke dalam labu inisiator sehingga diperoleh larutan B dan *purging* dengan gas N_2 , kemudian tunggu selama 30 menit.
9. Campurkan kedua larutan A dan larutan B dengan *stirrer* dan tetap mem-*purging* dengan gas N_2 .
10. Menunggu 15 detik hingga tercampur sempurna.
11. Tarik *holder glass silinder* dan naikan kecepatan *stirrer*.
12. Dalam 5 menit kopolimer gel terbentuk, dan reaksi polimerisasi berlangsung selama 6 jam sambil di-*purging* menggunakan N_2 .
13. Potong silinder gel dengan ukuran 2×2 mm, dan memotong kasar gel untuk percobaan adsorpsi.
14. Mencuci gel dengan *distilled water* selama 7 hari dengan mengganti *distilled water* setiap hari.
15. Keringkan gel pada kertas teflon untuk selanjutnya digunakan dalam *experiment* adsorpsi dan desorpsi, dan *swelling* properti.

III.4 Variabel Penelitian

Variabel – variabel yang digunakan dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh Perubahan Suhu pada Properti Adsorpsi dan Desorpsi Thermosensitive NIPAM-co-DMAAPS Gel” ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel tetap
 - a. Sintesis kopolimer gel dilakukan pada temperatur 15°C
 - b. Konsentrasi total monomer adalah 1000 mmol/L

2. Variabel Input

- Konsentrasi larutan : 2,5; 5; 7,5; dan 10 mmol/L
- Konsentrasi *cross-linker* (MBAA): 30 mmol/L
- Suhu adsorpsi dan desorpsi : 10, 30, dan 50°C
- Komposisi monomer NIPAM dan DMAAPS = 1:9

3. Variabel Respon

- Konsentrasi ion dalam kopolimer gel
- Swelling degree DMAAPS, NIPAM, dan kopolimer gel

III.5 Karakterisasi Hasil Penelitian

Uji yang dilakukan terhadap hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Uji *Swelling degree* (SD)

Swelling degree (SD) dilakukan dengan memasukkan silinder gel yang diameternya telah diukur dengan *milimeter block* pada suhu 50°C dan dibiarkan selama 12 jam untuk mengembang dan mencapai *equilibrium swelling*. Kemudian diameter gel diukur kembali dengan menggunakan *milimeter block*. Suhu larutan untuk penelitian ini adalah pada suhu 10°C, 30°C dan 50°C. *Swelling degree* dihitung menggunakan persamaan 3.1

$$\text{Swelling Degree} = \frac{d_{\text{swell}}^3}{d_{\text{dry}}^3} \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana d_{swell} adalah diameter gel yang telah mencapai *equilibrium swelling* pada suhu tertentu dan d_{dry} adalah diameter dari gel kering.

2. Uji Adsorpsi / Desorpsi

Pada penelitian ini, larutan yang digunakan pada proses adsorpsi dan desorpsi adalah NaNO_3 . Satu gram kopolimer gel ditambahkan ke dalam gelas botol yang berisi

20 mL larutan *aqueous* dengan konsentrasi yang diinginkan. Gelas botol kemudian diletakkan di dalam *waterbath* yang disertai pengadukan selama 12 jam pada suhu yang diinginkan untuk mencapai kondisi adsorpsi *equilibrium*. Untuk menghitung konsentrasi kation maupun anion di dalam larutan setelah proses adsorpsi dan desorpsi, gel dipisahkan dari larutan dengan *sentrifuge* selama 10 menit. Kemudian gel difiltrasi dengan *syringe filter*. Untuk uji desorpsi dilakukan dengan memasukkan gel hasil adsorpsi yang sudah dikeringkan sebelumnya ke dalam *distilled water* dan dilanjutkan dengan pengadukan selama 12 jam pada suhu tetap, sehingga didapatkan larutan akhir dengan metode yang sama pada eksperimen adsorpsi.

Jumlah ion yang teradsorpsi ke dalam gel dihitung dari konsentrasi kation dan anion sebelum dan sesudah proses adsorpsi dengan menggunakan persamaan 3.2,

$$Q = \frac{(C_0 - C)V}{m} \dots\dots\dots(3.2)$$

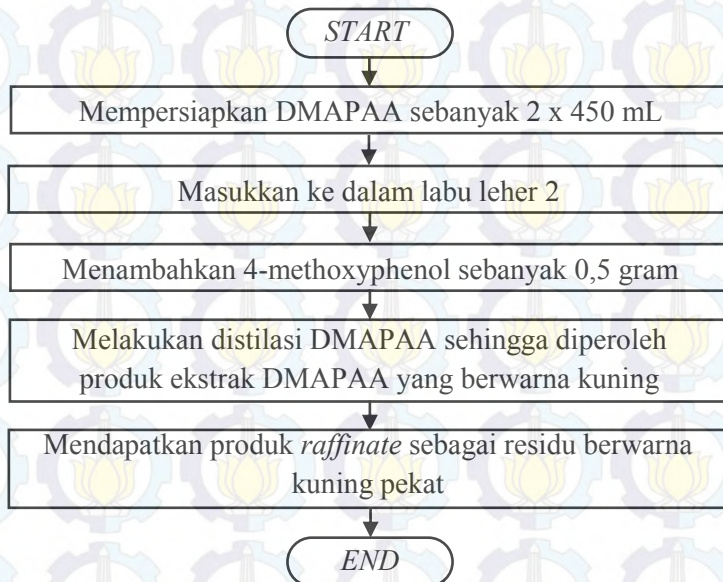
Sementara untuk menghitung jumlah ion yang terdesorpsi ke dalam *distilled water* menggunakan persamaan 3.3,

$$Q = \frac{C \times V}{m} \dots\dots\dots(3.3)$$

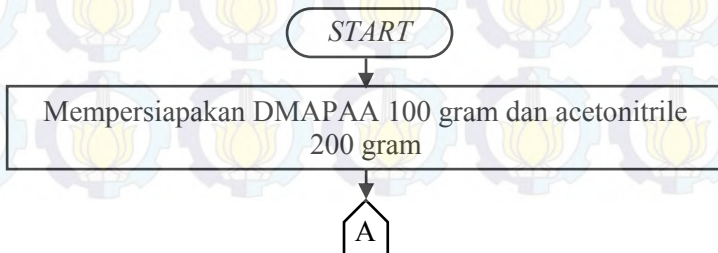
dimana Q adalah jumlah kation atau anion yang teradsorpsi atau yang terdesorpsi, C_0 adalah konsentrasi dari ion dalam larutan sebelum proses adsorpsi atau desorpsi, C adalah konsentrasi dari ion dalam larutan setelah proses adsorpsi atau desorpsi, V adalah volume larutan, and m adalah berat *dry gel* (≥ 180 mesh). Konsentrasi ion ditentukan dengan menggunakan analisa *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

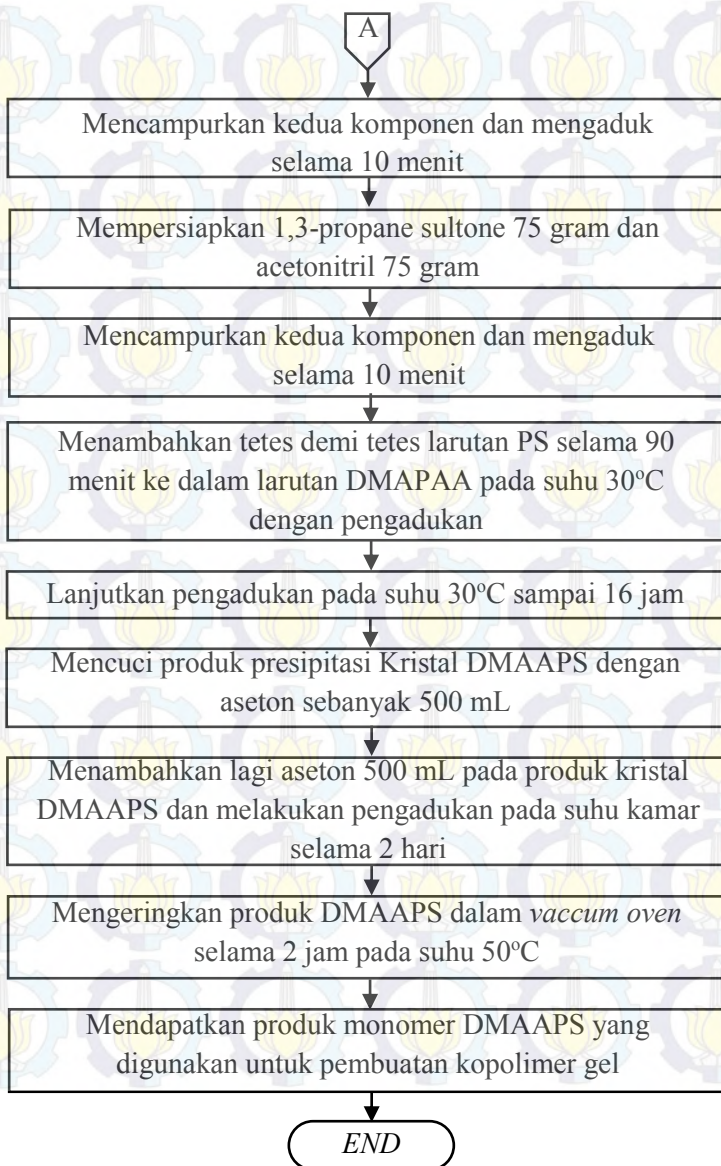
III.6 Diagram Blok Penelitian

1. Pemurnian *N,N*-dimethylaminopropylacrylamide (DMPAA)

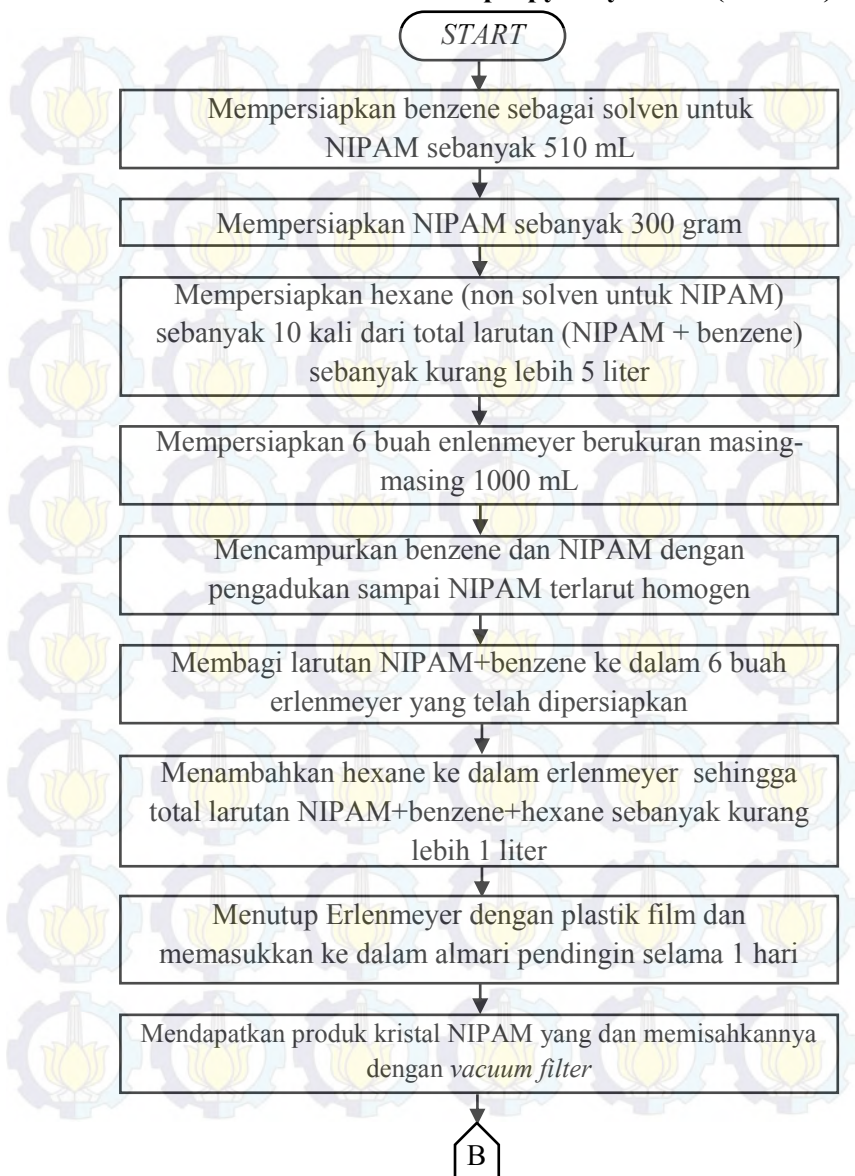


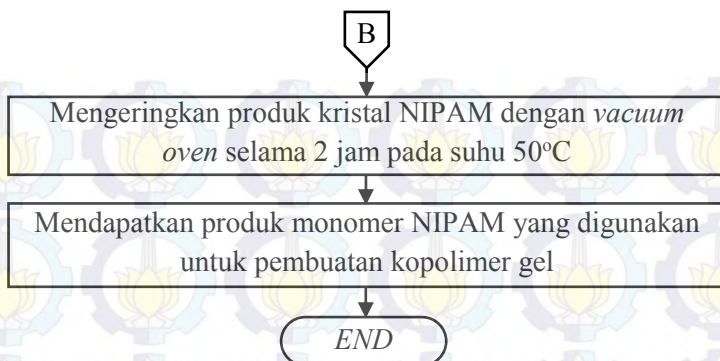
2. Pembuatan monomer *N,N*-dimethyl(acrylamidopropyl) ammonium propane sulfonate (DMAAPS)



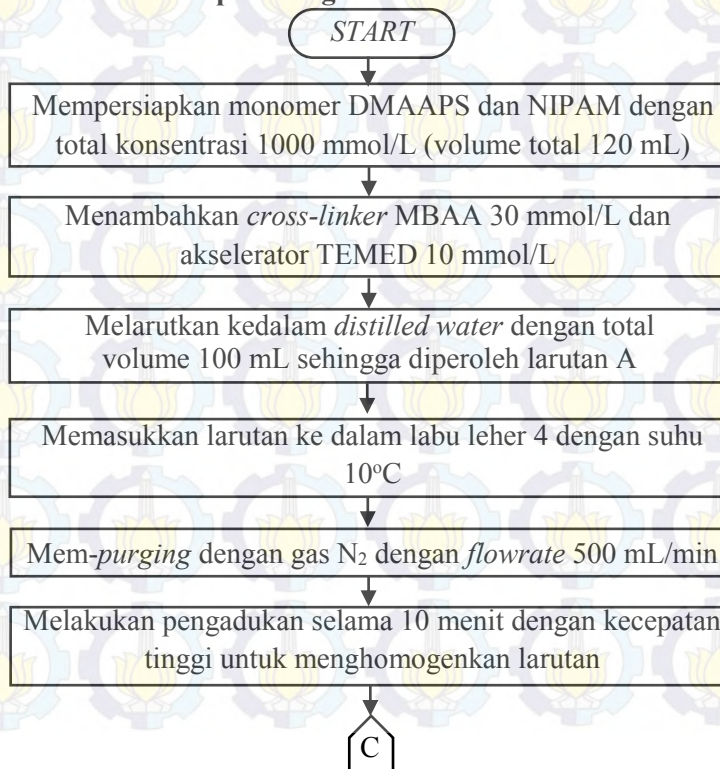


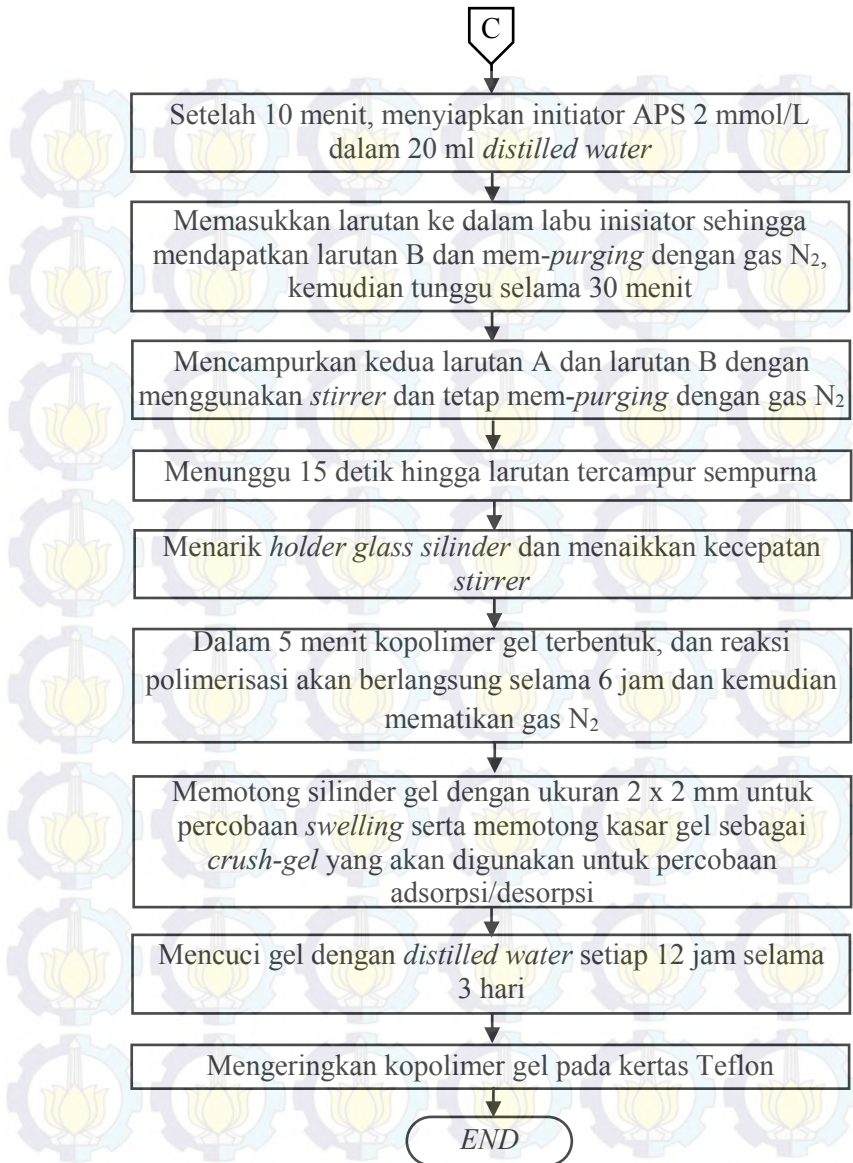
3. Pemurnian monomer *N*-isopropylacrylamide (NIPAM)





4. Pembuatan kopolimer gel NIPAM-co-DMAAPS







BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kopolimer adalah polimer yang mengandung dua atau lebih jenis monomer (Seymour Carraher's, 2005). Dalam penelitian ini, pembuatan NIPAM-*co*-DMAAPS gel dilakukan melalui dua tahap, yaitu tahap pemurnian bahan dan pembuatan kopolimer. Untuk tahap pemurnian bahan meliputi pemurnian NIPAM serta DMAPAA yang dilanjutkan dengan pembuatan monomer DMAAPS melalui reaksi pembukaan rantai (*ring opening*) meolekul 1,3-Propanesultone (PS) dan *N,N'*-Dimethyl-aminopropylacrylamide (DMAPAA). Monomer DMAAPS ini kemudian dikopolimerkan dengan NIPAM melalui polimerisasi radikal bebas.

NIPAM dan DMAAPS merupakan *thermosensitive* gel. Poly(NIPAM) mempunyai suhu transisi yang disebut LCST (*Lower Critictical Solution Temperature*) pada suhu 32°C. NIPAM gel pada suhu di atas 32°C akan mengalami *swelling*. Dan sebaliknya, ketika berada di bawah suhu 32°C akan mengalami *shrinking* (Hirokawa dkk, 1984). Sementara poly(DMAAPS) memiliki suhu transisi UCST (*Upper Critical Solution Temperature*) yang nilainya tergantung pada konsentrasi monomer, polimer, larutan dan jenis ionnya. Poly(DMAAPS) juga tidak larut di dalam air di bawah suhu UCST, tetapi akan larut di atas suhu UCSTnya (Salamone dkk, 1978). Pada penelitian ini, tahap sintesa kopolimer gel dilakukan pada suhu 15°C dibawah suhu LCST dari NIPAM (32°C) yang bertujuan untuk mempermudah *solubility* monomer kedalam pelarutnya yaitu air. Selain itu, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ning, dkk (2013), poly(NIPAM-*co*-DMAAPS) dengan komposisi monomer 1:9 memiliki suhu UCST sekitar 10°C sehingga sintesa harus dilakukan diatas suhu tersebut.

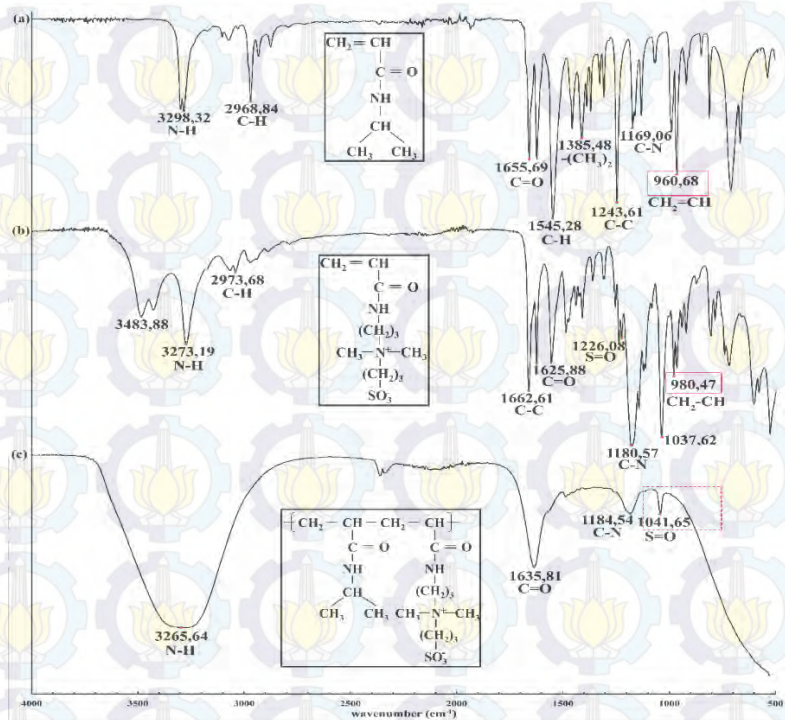
Analisa yang dilakukan pada penelitian ini antara lain FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) untuk mengetahui keberadaan gugus-gugus fungsi dari masing-masing monomer

dan kopolimer gel, uji *swelling degree*, serta AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) untuk mengetahui besarnya daya adsorpsi dan desorpsi ion didalam larutan pada kopolimer gel. Larutan yang digunakan dalam uji *swelling*, adsorpsi dan desorpsi adalah NaNO_3 dengan konsentrasi larutan 2,5; 5; 7,5; dan 10 mmol/L. Uji *swelling* dilakukan dengan mengukur diameter silinder gel yang telah dimasukkan dalam larutan NaNO_3 selama 12 jam dan membandingkannya dengan diameter gel kering yang telah diukur sebelumnya. Dalam pengukuran *swelling degree* suhu larutan diturunkan dari 50°C sampai 10°C dengan penurunan setiap 10°C . Dalam proses ini gel akan mengembang (*swell*) dan mencapai *equilibrium swelling*. Sedangkan untuk uji adsorpsi dilakukan dengan menambahkan satu gram produk kopolimer gel ke dalam gelas sampel yang berisi 20 ml larutan NaNO_3 pada berbagai konsentrasi. Kemudian gelas sampel tersebut diletakkan ke dalam *waterbath* pada suhu yang telah ditentukan dan disertai dengan pengadukan selama 12 jam untuk mencapai *equilibrium* adsorpsi. Untuk mengetahui konsentrasi akhir dari ion yang teradsorpsi oleh kopolimer gel, gel dipisahkan dari larutannya dengan *sentrifuge* dan di difiltrasi dengan *syringe filter*. Larutan ini kemudian dianalisa dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) untuk mengetahui besarnya konsentrasi ion yang teradsorpsi oleh kopolimer gel. Untuk proses desorpsi dilakukan dengan memasukkan gel hasil adsorpsi yang telah dikeringkan kembali ke dalam *distilled water* selama 12 jam pada suhu tertentu. Setelah 12 jam larutan dipisahkan kembali dengan kopolimer gel kemudian menganalisisnya dengan AAS untuk mengetahui konsentrasi yang terdesorpsi. Suhu yang digunakan dalam uji adsorpsi/desorpsi yaitu 10, 30 dan 50°C .

VI.1 Analisa *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Spektroskopi Infra Merah (IR) adalah jenis spektroskopi yang didasarkan pada vibrasi dari suatu molekul. Spektroskopi ini merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang

gelombang 0,75 – 1000 μm atau pada bilangan gelombang 13000–10 cm^{-1} . Satuan cm^{-1} dikenal sebagai wavenumber (1/wavelength) yang merupakan ukuran unit untuk frekuensi (Earnshaw A, 1997) Prinsip kerja dari spektrofotometer infra merah dengan interaksi energi dengan suatu materi. Analisa ini dilakukan untuk mengetahui adanya gugus-gugus fungsi penyusun monomer NIPAM dan DMAAPS, juga NIPAM-co-DMAAPS gel. Pada analisa ini digunakan daerah radiasi infra merah tengah dari panjang gelombang 4000 cm^{-1} sampai 500 cm^{-1} .



Gambar IV.1.1 Spektrum infra merah: (a) *N*-isopropylacrylamide (NIPAM); (b) *N,N'*-dimethyl(acrylamidopropyl)ammonium propane sulfonate (DMAAPS) ; (c) NIPAM-co-DMAAPS gel

a. Uji FTIR pada NIPAM

Hasil analisa *N*-isopropylacrylamide (NIPAM) ditunjukkan pada **Gambar IV.1.1 (a)** yang merupakan hasil dari pemurnian NIPAM dengan menggunakan metode rekristalisasi (Klaus Tauer, 2009). NIPAM memiliki ikatan N–H, C–H, C=O, $-\text{C}(\text{CH}_3)_2$, $\text{CH}_2=\text{CH}$, C–C, dan C–N yang jelas terlihat pada **Gambar IV.1.2**. Pada panjang gelombang $3298,32\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan N–H. Ikatan C–H ditunjukkan pada daerah panjang gelombang $2968,84\text{ cm}^{-1}$. Sedangkan pada panjang gelombang $1655,69\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan C=O. Ikatan $-\text{C}(\text{CH}_3)_2$ terlihat pada panjang gelombang $1385,48\text{ cm}^{-1}$. Pada panjang gelombang $1243,05\text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan C–C. Untuk ikatan C–N dapat dilihat pada panjang gelombang $1189,06\text{ cm}^{-1}$. Dan pada panjang gelombang $960,68\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan vinil ($\text{CH}_2=\text{CH}$).

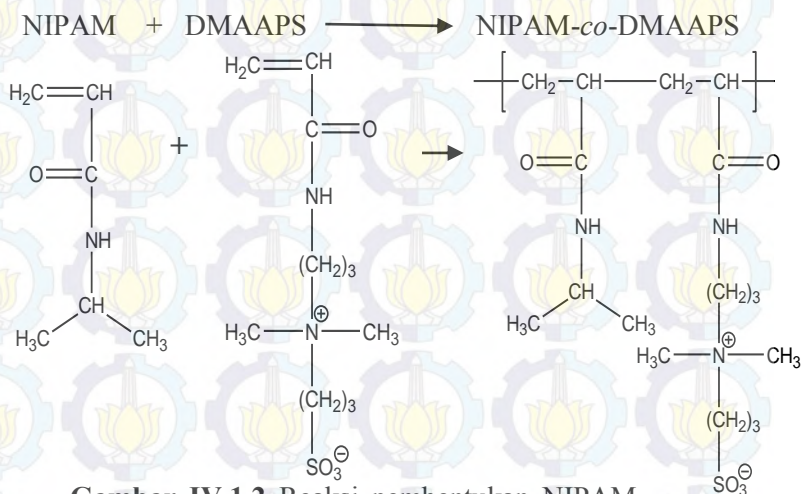
b. Uji FTIR pada DMAAPS

Monomer DMAAPS disintesa dengan mereaksikan antara *N,N*-dimethylaminopropylacrylamide (DMAPAA) yang telah dimurnikan sebelumnya dengan distilasi vakum, dan acetonitril serta 1,3-propane sultone (PS) yang disertai dengan pengadukan selama 16 jam. **Gambar IV.1.1 (b)** menunjukkan hasil analisa FTIR dari DMAAPS. Pada panjang gelombang $3273,19\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan N–H. Ikatan C–H ditunjukkan pada panjang gelombang infra merah sebesar $2973,68\text{ cm}^{-1}$. Pada panjang gelombang sebesar $1662,61\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan C–C. Sedangkan pada panjang gelombang $1625,88\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan C=O. Ikatan S=O ditunjukkan pada panjang gelombang sebesar $1226,08\text{ cm}^{-1}$. Panjang gelombang sebesar $1180,57\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan C–N. Ikatan vinil ($\text{CH}_2=\text{CH}$) dapat dilihat pada panjang gelombang $980,47\text{ cm}^{-1}$. Gugus ini sesuai dengan ikatan

penyusun dari DMAAPS yang terlihat pada **Gambar IV.1.2**.

c. **Uji FTIR pada NIPAM-co-DMAAPS gel**

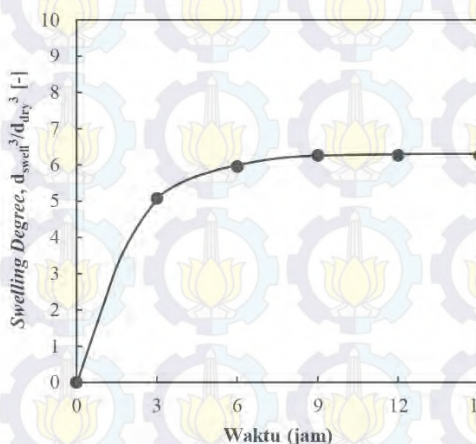
NIPAM-co-DMAAPS gel terbentuk melalui reaksi polimerisasi radikal bebas. **Gambar IV.1.1 (c)** menunjukkan hasil analisa spektrofotometri sinar infra merah dari NIPAM-co-DMAAPS gel. Ikatan N–H ditunjukkan pada panjang gelombang $3265,64\text{ cm}^{-1}$. Pada panjang gelombang mencapai titik $1635,81\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan C=O. Ikatan C–N bisa dilihat pada panjang gelombang $1184,54\text{ cm}^{-1}$. Sedangkan ikatan S=O ditunjukkan pada panjang gelombang $1041,65\text{ cm}^{-1}$. Gugus ini juga sesuai dengan ikatan penyusun dari kopolimer yang terlihat pada **Gambar IV.1.2**.



Gambar IV.1.2 Reaksi pembentukan NIPAM-co-DMAAPS Gel

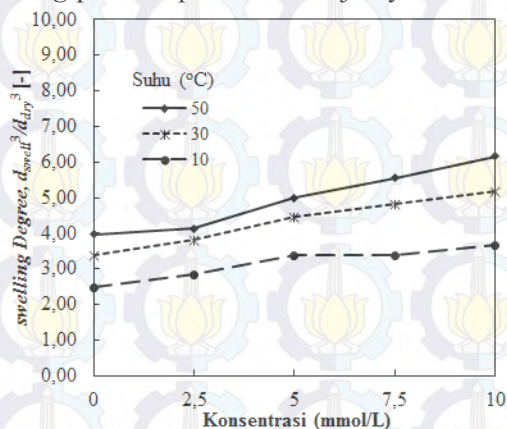
Perbedaan gugus fungsi masing-masing penyusun monomer maupun kopolimer gel terlihat pada keberadaan gugus vinil $\text{CH}_2=\text{CH}$ yang akan menentukan keberhasilan dari reaksi kopolimer tersebut. Ikatan vinil ($\text{CH}_2=\text{CH}$) terletak pada rentang panjang gelombang antara 950 sampai 1000 cm^{-1} (Joseph dkk, 1987). Pada NIPAM ikatan vinil ($\text{CH}_2=\text{CH}$) terlihat pada panjang gelombang 960,68 cm^{-1} (**Gambar IV.1.1 (a)**). Pada DMAAPS, ikatan vinil ($\text{CH}_2=\text{CH}$) juga terlihat pada panjang gelombang 980,47 cm^{-1} (**Gambar IV.1.1 (b)**). Namun pada hasil analisa FTIR dari NIPAM-*co*-DMAAPS gel (**Gambar IV.1.1 (c)**) tidak terdapat *peak* yang menunjukkan ikatan $\text{CH}_2=\text{CH}$. Hal ini mengindikasikan keberhasilan reaksi kopolimerisasi antara NIPAM dan DMAAPS dalam membentuk NIPAM-*co*-DMAAPS gel.

VI.2 Swelling Degree NIPAM-*co*-DMAAPS Gel



Gambar IV.2.1 Pengaruh waktu terhadap *swelling degree* dari NIPAM-*co*-DMAAPS gel dalam larutan NaNO_3 10 mmol/L pada suhu 50°C

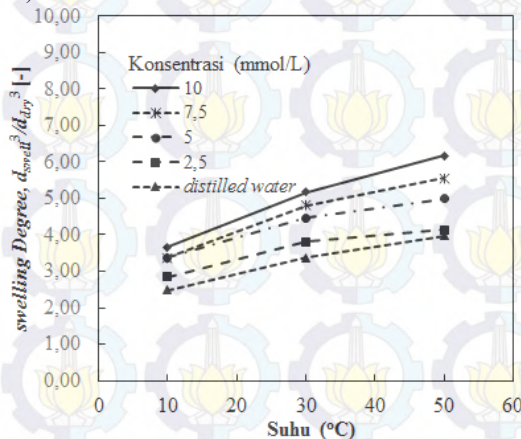
Swelling degree atau juga disebut dengan *volumetric swelling* merupakan hasil perbandingan/rasio fraksi volume gel sesudah dan sebelum *swelling* (Huglin & Rego, 1993). **Gambar IV.2.1** adalah grafik hubungan antara waktu *swelling* dengan besarnya *swelling degree* dalam rentang 0-15 jam. Grafik ini bertujuan untuk mengetahui waktu NIPAM-co-DMAAPS gel mencapai *equilibrium swelling* di dalam larutan NaNO_3 . Pada **Gambar IV.2.1** terlihat pada 3 jam pertama *swelling degree* kopolimer gel meningkat secara signifikan, kemudian pada 3-6 jam *swelling degree* meningkat secara perlahan sampai akhirnya pada 9 sampai 15 jam *swelling degree* gel mencapai nilai yang konstan (*equilibrium swelling*). Oleh karena itu, dari hasil diatas dapat ditentukan waktu silinder gel untuk mencapai *equilibrium swelling* yaitu diatas 9 jam, yang dapat digunakan sebagai acuan waktu *swelling* pada eksperimen selanjutnya.



Gambar IV.2.2 Pengaruh konsentrasi terhadap *swelling degree* dari NIPAM-co-DMAAPS gel

Gambar IV.2.2 di atas merupakan grafik pengaruh dari konsentrasi larutan NaNO_3 terhadap *swelling degree* dari NIPAM-co-DMAAPS gel. Besarnya *swelling degree* dari NIPAM-co-DMAAPS gel dalam larutan NaNO_3 berbanding

lurus dengan besarnya konsentrasi Na^+ . *Swelling degree* NIPAM-co-DMAAPS gel mencapai nilai tertinggi pada konsentrasi larutan uji yaitu pada 10 mmol/L. NIPAM-co-DMAAPS gel merupakan kopolimer hidrofilik yang memiliki *zwitterion* pada sisi rantainya. Keberadaan ion Na^+ dari larutan menyebabkan pelemahan atau bahkan pemutusan interaksi *intra*-atau *intra-chain* antara *charged group* N^+ dan SO_3^- pada kopolimer dengan larutan NaNO_3 . Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut: Ion Na^+ dan NO_3^- pada konsentrasi yang tinggi akan mengganggu interaksi N^+ dan SO_3^- sehingga Na^+ akan berikatan dengan SO_3^- sedangkan N^+ akan berikatan dengan NO_3^- dari larutan. Semakin tinggi konsentrasi larutan, pemutusan ikatan N^+ dan SO_3^- semakin besar yang menyebabkan jarak antara unit perulangan polimer cukup jauh sehingga jaringan polimer gel semakin mengembang dan meningkatkan kemampuan *swelling* dari NIPAM-co-DMAAPS gel (Huglin & Rego, 1993).

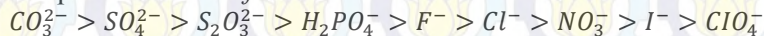


Gambar IV.2.3 Pengaruh suhu terhadap *swelling degree* dari NIPAM-co-DMAAPS gel pada berbagai konsentrasi

Dari **Gambar IV.2.3** terlihat bahwa *swelling degree* dari NIPAM-co-DMAAPS gel meningkat seiring dengan meningkatnya suhu larutan NaNO_3 . Semakin besar suhu dari larutan NaNO_3 maka semakin besar pula nilai *swelling degree* dari NIPAM-co-DMAAPS gel. Terlihat bahwa nilai terbesar *swelling degree* kopolimer gel pada suhu 50°C dan nilai *swelling degree* terendah terjadi pada suhu 10°C pada berbagai konsentrasi. Hal ini disebabkan pada suhu yang rendah dan konsentrasi *cross-linker* yang cukup besar (30 mmol/L), *electroneutrality* dari *charge groups* berasal dari hasil interaksi pasangan ion *intra-grup* (George, 2001). Sehingga pada suhu rendah ikatan *intra-* atau *inter-chain* pada Na^+ dengan SO_3^- serta N^+ dengan NO_3^- sangat kuat. Selain itu, pada suhu tinggi *thermal motion* akan melemahkan ikatan *intra-group* atau *intra-chain* mengakibatkan *swelling degree* besar akibat berkembangnya jaringan polimer gel (*polymer network*). Sehingga interaksi antara ion dengan *charged group* melemah dan mengurangi adsorpsi ion pada larutannya.

Besarnya *swelling degree* dari NIPAM-co-DMAAPS gel tergantung dari jenis larutan. Jika dibandingkan dengan NIPAM-co-DMAAPS gel maupun DMAAPS gel (Eva, 2014) *swelling degree* dari kopolimer gel lebih kecil dibandingkan dengan DMAAPS gel. Hal ini disebabkan oleh sifat dari *thermosensitive* NIPAM pada kopolimer gel yang memiliki hidrofobisitas terhadap perubahan suhu, dimana pada suhu tinggi NIPAM gel akan mengalami *shrinking* (Li dkk. 1989). Oleh karena itu, nilai *swelling degree* dari kopolimer gel lebih kecil jika dibanding dengan DMAAPS gel.

Swelling degree juga berhubungan dengan kemampuan anion untuk berinteraksi dengan *positively charged groups* N^+ dari DMAAPS yang dijelaskan oleh *Hofmeister series*. Berikut ini merupakan daftar *Hofmeister series*:



Spesies disebelah kiri dari *Hofmeister series* disebut sebagai *kosmotropes* (pembentuk struktur air). Anion ini

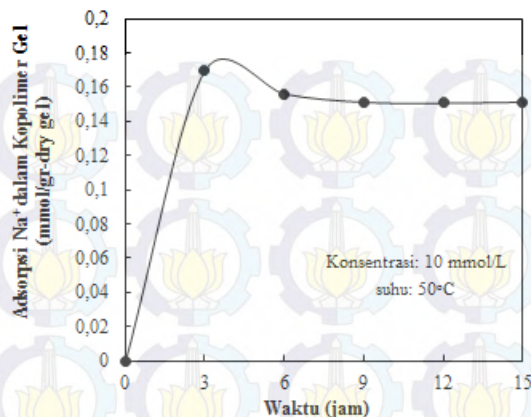
berukuran kecil dan kemampuan hidrasinya tinggi. Sedangkan spesies disebelah kanan *Hofmeister series* disebut *chaotropes* (pemecah struktur air), yang berukuran relatif besar dengan kemampuan hidrasi yang rendah. Untuk eksperimen *swelling degree* kopolimer gel ini dilakukan dalam larutan NaNO_3 . Ion I^- dan NO_3^- termasuk anion *chaotropes* dimana kemampuannya untuk berikatan dengan ion bermuatan pada DMAAPS lebih besar dibandingkan dengan *kosmotrope* yang berarti juga memiliki daya adsorpsi lebih besar daripada *kosmotropes*.

VI.3 Analisa *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS)

Metode analisa AAS yang merupakan kepanjangan dari *Atomic Absorption Spectroscopy* adalah salah satu jenis analisa spektrofotometri yang dasar pengukurannya adalah banyaknya serapan suatu sinar oleh suatu atom, dimana sinar yang tidak diserap akan diteruskan dan diubah menjadi sinyal listrik yang terukur (Marvin, 1966). Analisa AAS sangat *cocok* untuk analisis analit, terutama pada logam-logam dengan konsentrasi rendah (Pecok, 1976).

VI.4 Uji Adsorpsi/Desorpsi NIPAM-co-DMAAPS Gel

Adsorpsi dapat didefinisikan sebagai suatu pengikat reversibel molekul dan atom dari fase gas dan cairan pada permukaan, media adsorben yang sangat berpori. Sedangkan proses yang sebaliknya biasa disebut dengan desorpsi. Dalam adsorpsi, daya serap terakumulasi pada adsorben yang kemudian dimuat dengan adsorbat (Ullmann, 2005). Pada penelitian adsorpsi dan desorpsi ini menggunakan *crush gel* dengan ukuran ≥ 180 mesh.



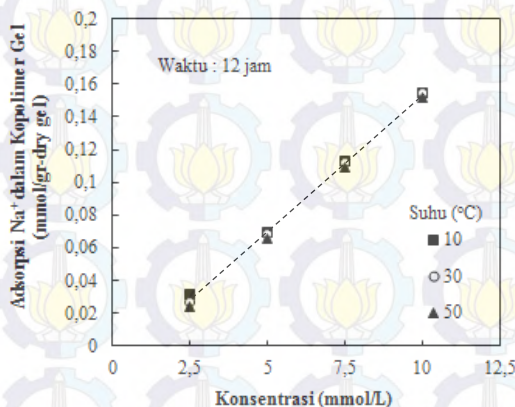
Gambar IV.4.1 Pengaruh waktu terhadap adsorpsi dari NIPAM-*co*-DMAAPS gel

Gambar IV.4.1 adalah grafik hubungan antara waktu adsorpsi kopolimer gel dengan besarnya jumlah adsorpsi kation Na^+ pada larutan NaNO_3 dalam rentang 0-15 jam. Grafik ini bertujuan untuk mengetahui waktu NIPAM-*co*-DMAAPS gel dalam mencapai *equilibrium* adsorpsi di dalam larutan NaNO_3 . Pada 3 jam pertama jumlah kation Na^+ yang teradsorpsi pada kopolimer gel meningkat secara signifikan, kemudian pada 3-9 jam jumlah kation Na^+ yang teradsorpsi menurun secara perlahan. Hal ini terjadi karena, pada waktu 3 jam pertama kopolimer gel memiliki ikatan *inter-*, *intra group* dan *inter-chain* pada *charged group sulfobetaine* yang kuat sehingga daya adsorpsi kopolimer gel tinggi, tetapi dengan meningkatnya waktu maka ikatan pada kopolimer gel melemah sehingga kemampuan kopolimer gel untuk mengadsorpsi kation Na^+ menurun.

Pada 9-15 jam jumlah kation Na^+ yang teradsorpsi kopolimer mencapai nilai yang konstan yang berarti mencapai *equilibrium* adsorpsi. Dari hasil diatas dapat ditentukan waktu untuk kopolimer gel mencapai *equilibrium* Adsorpsi yaitu diatas 9

jam sehingga digunakan sebagai acuan waktu adsorpsi pada eksperimen selanjutnya.

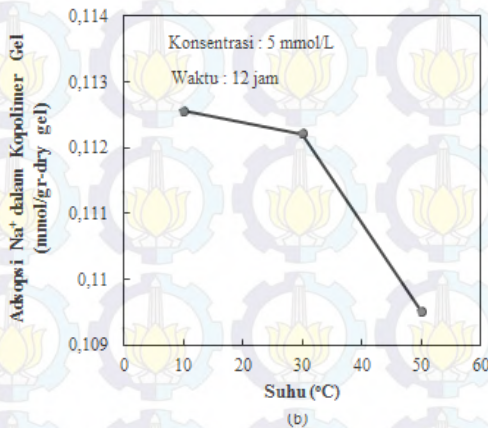
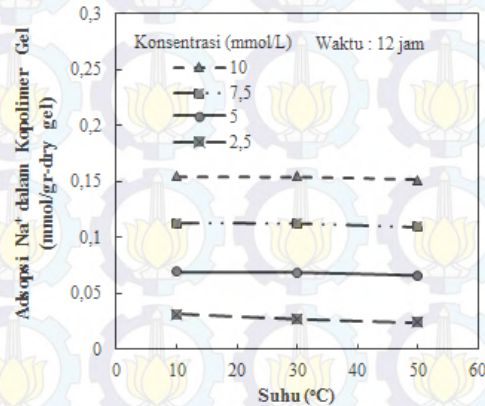
Jika dibandingkan besarnya adsorpsi DMAAPS gel (Eva, 2014) dengan kopolimer gel dalam larutan NaNO_3 , adsorpsi dari kopolimer gel lebih besar daripada DMAAPS gel. Kopolimer gel cenderung membentuk ikatan *intra-chain* yang renggang karena terdiri dari susunan NIPAM dan DMAAPS yang acak (*random*). Sementara DMAAPS gel lebih cenderung membentuk ikatan baik *inter-*, *intra-chain* maupun *intra-group* yang lebih rapat. Sehingga pada kopolimer gel lebih mudah membentuk interaksi antara ion-ion Na^+ dan NO_3^- pada larutan NaNO_3 dengan *charged group sulfobetaine* (N^+ dan SO_3^-) daripada pada DMAAPS gel. Hal ini menyebabkan kemampuan adsorpsi kopolimer gel dengan ion Na^+ dan NO_3^- dalam larutan NaNO_3 lebih besar dibandingkan dengan DMAAPS gel.



Gambar IV.4.2 Pengaruh konsentrasi larutan terhadap adsorpsi ion pada NIPAM-co-DMAAPS gel pada berbagai suhu

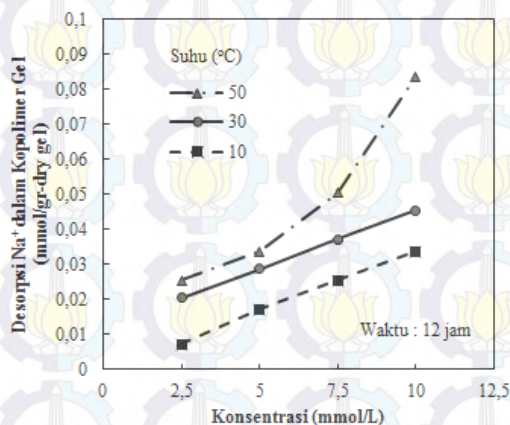
Gambar IV.4.2 merupakan grafik pengaruh konsentrasi terhadap jumlah kation Na^+ yang teradsorpsi dari kopolimer pada berbagai suhu. Terlihat bahwa semakin besar

konsentrasi NaNO_3 maka jumlah kation Na^+ yang teradsorpsi oleh kopolimer juga meningkat. Hal ini disebabkan oleh banyaknya jumlah Na^+ dan NO_3^- pada larutan NaNO_3 yang menyerang *charged group* dari *sulfobetaine* (SO_3^- dan N^+) pada kopolimer gel.



Gambar IV.4.3 Pengaruh suhu terhadap adsorpsi ion pada NIPAM-co-DMAAPS gel pada (a) Berbagai konsentrasi; (b) Konsentrasi 5 mmol/L

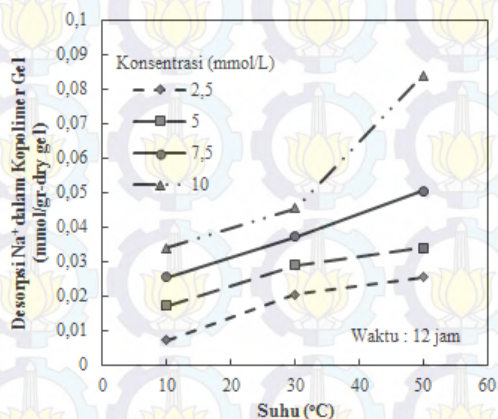
Gambar IV.4.3 (a) adalah grafik pengaruh suhu terhadap adsorpsi ion pada NIPAM-*co*-DMAAPS gel pada berbagai konsentrasi larutan NaNO₃. Terlihat bahwa semakin besar suhu, jumlah kation Na⁺ yang teradsorpsi juga menurun. Penurunan jumlah kation yang diadsorpsi dari larutan NaNO₃ pada kopolimer gel dengan konsentrasi 5 mmol/L lebih jelas terlihat pada **Gambar IV.4.3 (b)**. Pada suhu 10°C sampai 30°C, jumlah ion yang teradsorpsi menurun secara perlahan dan menurun drastis pada suhu 50°C. Hal ini diakibatkan pada suhu tinggi *thermal motion* melemahkan interaksi ikatan antara ion-ion Na⁺ dan NO₃⁻ pada larutan NaNO₃ dengan *charged group sulfobetaine* (N⁺ dan SO₃⁻) dalam kopolimer gel. Dengan melemahnya ikatan tersebut, kemampuan adsorpsi kopolimer menurun sehingga jumlah ion yang teradsorpsi dari larutan NaNO₃ pada NIPAM-*co*-DMAAPS kecil.



Gambar IV.4.4 Pengaruh konsentrasi larutan terhadap desorpsi ion dari NIPAM-*co*-DMAAPS gel pada berbagai suhu;

Gambar IV.4.4 merupakan grafik jumlah kation Na⁺ yang terdesorpsi oleh NIPAM-*co*-DMAAPS gel di dalam *distilled water* terhadap konsentrasi larutan pada berbagai suhu. Terlihat

bahwa semakin besar konsentrasi larutan yang digunakan, jumlah kation Na^+ yang terdesorpsi ke dalam *distilled water* juga semakin meningkat.



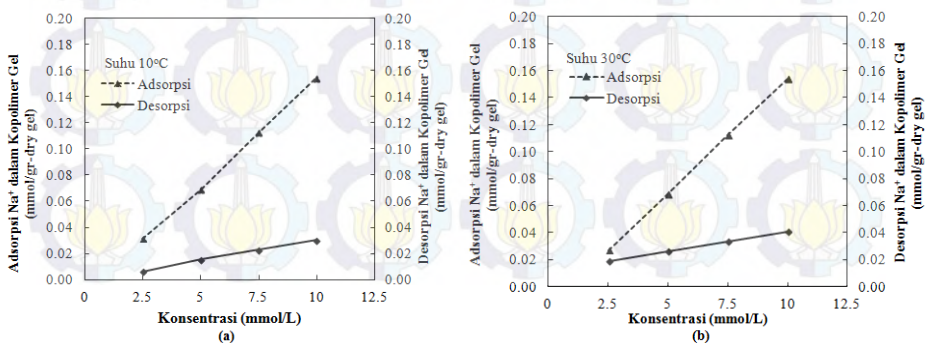
Gambar IV.4.5 Pengaruh suhu terhadap desorpsi ion dari NIPAM-co-DMAAPS gel pada berbagai konsentrasi.

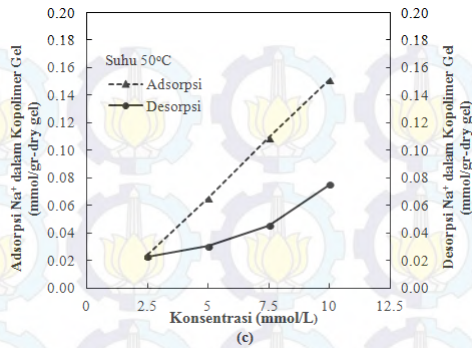
Gambar IV.4.5 merupakan grafik jumlah kation Na^+ yang terdesorpsi oleh kopolimer gel ke dalam *distilled water* terhadap suhu pada berbagai konsentrasi. Terlihat bahwa jumlah kation Na^+ yang terdesorpsi semakin meningkat dengan meningkatnya suhu. Pada konsentrasi 7,5 mmol/L menunjukkan bahwa desorpsi terkecil terlihat pada suhu 10°C dan desorpsi terbesar pada suhu 50°C. Hal ini disebabkan karena pada suhu tinggi, *thermal motion* melemahkan ikatan berpasangan Na^+ dan NO_3^- dari larutan NaNO_3 dengan *charged group sulfobetaine* (N^+ dan SO_3^-) pada NIPAM-co-DMAAPS gel (Eva, 2015), sehingga pada suhu tinggi gel mudah melepaskan ion Na^+ dan NO_3^- ke dalam *distilled water*.

Tabel 4.1 Hubungan jumlah kation Na^+ yang terdesorpsi terhadap jumlah kation Na^+ yang teradsorpsi

| Konsentrasi (mmol/L) | Suhu ($^{\circ}\text{C}$) | Q | Q_d | % Desorpsi |
|----------------------|-----------------------------|------|-------|------------|
| 2,5 | 10 | 0,03 | 0,01 | 0,2025 |
| 5 | | 0,07 | 0,02 | 0,2231 |
| 7,5 | | 0,11 | 0,02 | 0,2035 |
| 10 | | 0,15 | 0,03 | 0,1969 |
| Konsentrasi (mmol/L) | Suhu ($^{\circ}\text{C}$) | | | |
| 2,5 | 30 | 0,03 | 0,02 | 0,6807 |
| 5 | | 0,07 | 0,03 | 0,3776 |
| 7,5 | | 0,11 | 0,03 | 0,2976 |
| 10 | | 0,15 | 0,04 | 0,2652 |
| Konsentrasi (mmol/L) | Suhu ($^{\circ}\text{C}$) | | | |
| 2,5 | 50 | 0,02 | 0,02 | 0,9577 |
| 5 | | 0,07 | 0,03 | 0,4612 |
| 7,5 | | 0,11 | 0,05 | 0,4145 |
| 10 | | 0,15 | 0,08 | 0,4978 |

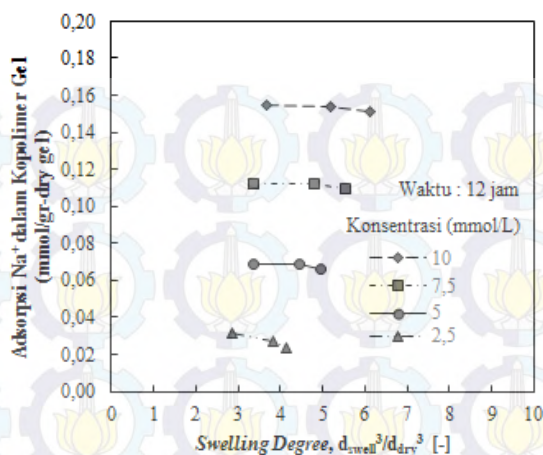
Dari **Tabel 4.1** didapatkan grafik jumlah kation yang terdesorpsi dan jumlah kation yang teradsorpsi terhadap konsentrasi pada berbagai suhu, sebagai berikut:





Gambar IV.4.6 Pengaruh adsorpsi terhadap desorpsi ion pada NIPAM-co-DMAAPS berbagai konsentrasi pada suhu (a). 10°C, (b). 30°C, dan (c). 50°C.

Hubungan yang terjadi antara adsorpsi ion pada kopolimer gel terhadap desorpsinya terlihat pada **Gambar IV.4.6**. Terlihat bahwa, jumlah kation Na^+ teradsorpsi semakin menurun dengan meningkatnya suhu tetapi berbanding terbalik dengan desorpsinya, dimana jumlah kation Na^+ terdesorpsi semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena pada suhu tinggi *thermal motion* melemahkan interaksi ikatan berpasangan ion-ion Na^+ dan NO_3^- dari N^+ dan SO_3^- pada kopolimer gel. Dengan meningkatnya suhu, ion-ion Na^+ dan NO_3^- yang mengikat *charged group sulfobetaine* (N^+ dan SO_3^-) pada kopolimer gel melemah sehingga ion-ion Na^+ dan NO_3^- dari kopolimer gel masuk ke dalam *distilled water*. *Thermal motion* juga melemahkan ikatan ion-ion berpasangan rantai antara *charged group* dari kopolimer gel dengan Na^+ dan NO_3^- pada larutan NaNO_3 maupun yang terdapat pada kopolimer gel (Eva, 2014), sehingga mengurangi ion yang diadsorpsi dari larutan NaNO_3 oleh kopolimer gel pada suhu tinggi.



Gambar IV.4.7 Hubungan antara *swelling degree* dan adsorpsi ion pada NIPAM-co-DMAAPS gel

Hubungan *swelling degree* terhadap adsorpsi NIPAM-co-DMAAPS terlihat pada **Gambar IV.4.7** Terlihat bahwa dengan meningkatnya *swelling degree* jumlah kation Na^+ yang teradsorpsi pada kopolimer gel semakin berkurang dan nilainya berbanding lurus dengan konsentrasi larutan. Pada konsentrasi 2,5 mmol/L terlihat bahwa pada suhu rendah (10°C sampai 30°C) nilai *swelling degree* meningkat secara signifikan tetapi jumlah kation yang di adsorpsi terlihat tetap. Sedangkan pada suhu tinggi (50°C) nilai *swelling degree* tinggi dan jumlah kation kation yang di adsorpsi menurun drastis. Hal disebabkan pada suhu tinggi gel akan mengembang dan *thermal motion* tidak hanya mampu melemahkan interaksi *charged group* antara N^+ dan SO_3 pada kopolimer gel, juga ikatan ionik antara *charged group* dengan ion-ion (Na^+ dan NO_3^-) pada larutan NaNO_3 . Dengan melemahnya ikatan tersebut, berkurang pula daya adsorpsi kopolimer sehingga jumlah ion yang teradsorpsi dari larutan NaNO_3 pada NIPAM-co-DMAAPS menurun.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

1. Pada suhu yang tinggi nilai *swelling degree* dari kopolimer gel semakin besar
2. Semakin besar konsentrasi larutan NaNO_3 yang digunakan maka semakin besar nilai *swelling degree* yang didapatkan.
3. Semakin tinggi suhu semakin sedikit ion Na^+ yang teradsorpsi ke dalam kopolimer gel.
4. Semakin besar konsentrasi larutan NaNO_3 maka akan semakin banyak ion Na^+ yang diadsorpsi.
5. Pada suhu yang tinggi semakin banyak ion Na^+ yang terdesorpsi ke dalam *distilled water*.
6. Semakin besar konsentrasi larutan NaNO_3 maka semakin banyak ion Na^+ yang didesorpsi.
7. Berdasarkan hubungan antara properti *swelling*, adsorpsi, pada nilai *swelling degree* yang rendah, adsorpsi ion pada kopolimer gel menunjukkan nilai yang konstan, namun dengan meningkatnya nilai *swelling degree*, adsorpsi ion cenderung menurun.

V.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya digunakan variabel pada suhu 70°C untuk mengetahui pengaruh suhu yang relatif tinggi pada properti *swelling*, adsorpsi, dan desorpsi.
2. Mengubah konsentrasi monomer untuk mengetahui pengaruh terhadap *swelling degree*, adsorpsi dan desorpsi.



DAFTAR PUSTAKA

- Bhat MA, Mukhtar F, Chisti H, Shah SA. 2014. "*Removal of heavy metal ions from waste water by using oxalic acid: an alternative method*". International Journal of Latest Research in Science and Technology. Vol.3, hal 61-64.
- Crowther h, Saunders BR, Mears SJ, Cosgrove T, Vincent B, King SM, Yu GE. 1998. "*Poly(NIPAM) microgel particle deswelling : a light scattering and small-angle neutron scattering study*". Colloids and Surface A. Vol.152, hal 327-333.
- Dimitrov I, Trzebicka B, dkk. 2007. "*Thermosensitive water-soluble copolymers with doubly responsive reversibly interacting entities*". Prog. Polym. Sci. 32. hal 1275-1343
- Kudaibergenov SE, Jaeger W, Laschewsky A. 2006. "*Polymeric betaines: synthesis, characterization, and application*". Adv Polym Sci. Vol.201, hal 157-224.
- Kudaibergenov SE. "*Polyampholytes*". 2008. "*Encyclopedia of polymer science and technology*". John Wiley Interscience. New York.
- Ladd J, Zhang Z, Chen S, Hower JC, Jiang S. 2008. "*Zwitterionic polymers exhibiting high resistance to nonspecific protein adsorption from human serum and plasma*". Biomacromolecules. Vol.9, hal 1357-61.
- Lee WF, Tsai CC. 1994. "*Aqueous solution properties of poly (trimethyl acrylamido propyl ammonium iodide) [poly (TMAAI)]*". J Appl Polym Sci. Vol.52, hal 1447-58.
- Liu J, Ma Y, Xu T, Shao G. 2010. "*Preparation of zwitterionic hybrid polymer and its application for the removal of heavy metal ions from water*". J Hazard Mater. Vol.178, hal 1021-9.
- Neagu V, Vasiliu S, Racovita S. 2010. "*Adsorption studies of some inorganic and organic salts on new zwitterionic ion exchangers with carboxybetaine moieties*". Chem Eng J. Vol.162, hal 965-73.

- Nesterenko EP, Nesterenko PN, Paull B. 2009. "*Zwitterionic ion-exchangers in ion chromatography, A review of recent developments*". Anal Chim Acta. Vol.652, hal 3–21.
- Nesterenko PN, Elefterov AI, Tarasenko DA, Shpigun OA. 1995. "*Selectivity of chemically bonded zwitterion-exchange stationary phases in ion chromatography*". J Chromatogr A. Vol.706, hal 59–68.
- Ningrum EO, Murakami Y, Ohfuka Y, Gotoh T, Sakohara S. 2014. "*Investigation of ion adsorption properties of sulfobetaine gel and relationship with its swelling behavior*". Polymer. Vol.55, hal 5189–97.
- Qdais HA, Moussa H. 2004. "*Removal of heavy metal from wastewater by membrane processes: a comparative study*". Desalation Vol. 164, hal 105–110.
- Rubio J, Sauza ML, Smith RW. 2001. "*Overview of flotation as a wastewater treatment technique*". Minerals Engineering. Vol.15, hal 135–155.
- Salamone JC, Volksen W, Olson AP, Israel SC. 1978. "*Aqueous solution properties of a poly(vinyl imidazolium sulphobetaine)*". Polymer. Vol.19, hal 1157–62.
- Takahashi A, Hamai K, Okada Y, Sakohara S. 2011. "*Thermosensitive properties of semi-IPN gel composed of amphiphilic gel and zwitterionic thermosensitive polymer in buffer solutions containing high concentration salt*". Polymer. Vol.52, hal 3791–9.
- Tanaka T. 1981. "*Gels*". Scientific American. Vol.244, hal 124–138.

APPENDIKS A

PERHITUNGAN PEMBUATAN LARUTAN UJI

➤ Perhitungan Pembuatan Larutan Uji NaNO_3

Konsentrasi larutan NaNO_3 yang digunakan untuk menguji swelling, adsorpsi, dan desorpsi adalah sebesar: 2,5; 5; 7,5; dan 10 mmol/L. Untuk menghitung jumlah massa (gram) yang diperlukan untuk membuat larutan uji menggunakan persamaan berikut:

$$M \left(\frac{\text{mmol}}{\text{L}} \right) = \frac{\text{Massa (gr)}}{\text{BM NaNO}_3} \times \frac{1000}{\text{Volume (L)}} \dots\dots\dots (\text{A1})$$

Sehingga didapatkan:

$$\text{Massa (gr)} = \frac{M \left(\frac{\text{mmol}}{\text{L}} \right) \times \text{BM NaNO}_3 \times \text{Volume (L)}}{1000} \dots\dots\dots (\text{A2})$$

- Konsentrasi 2,5 mmol/L

$$\text{Massa (gr)} = \frac{2,5 \left(\frac{\text{mmol}}{\text{L}} \right) \times 84,99 \times 1 (\text{L})}{1000}$$

$$\text{Massa (gr)} = 0,2125 \text{ gram}$$

Jadi, jumlah massa yang digunakan untuk membuat larutan uji NaNO_3 sebesar 0,2125 gram.

- Konsentrasi 5 mmol/L

$$\text{Massa (gr)} = \frac{5 \left(\frac{\text{mmol}}{\text{L}} \right) \times 84,99 \times 1 (\text{L})}{1000}$$

$$\text{Massa (gr)} = 0,4250 \text{ gram}$$

- Konsentrasi 7,5 mmol/L

$$\text{Massa (gr)} = \frac{7,5 \left(\frac{\text{mmol}}{\text{L}} \right) \times 84,99 \times 1 (\text{L})}{1000}$$

$$\text{Massa (gr)} = 0,6374 \text{ gram}$$

- Konsentrasi 10 mmol/L

$$\text{Massa (gr)} = \frac{10 \left(\frac{\text{mmol}}{\text{L}} \right) \times 84,99 \times 1 (\text{L})}{1000}$$

$$\text{Massa (gr)} = 0,8499 \text{ gram}$$

Larutan yang telah dibuat kemudian di analisa menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) untuk mengetahui kadar larutan NaNO_3 yang sebenarnya melalui perhitungan. Kadar larutan NaNO_3 yang sebenarnya digunakan untuk mengetahui kadar adsorpsi dan desorpsi. Berikut ini merupakan data perhitungan konsentrasi larutan uji sebenarnya:

$$z \left(\frac{\text{mmol}}{\text{L}} \right) = \left[\frac{\text{massa (gr)}}{\frac{\text{BM NaNO}_3}{1000}} \right] \times 10^6 \dots\dots\dots (\text{A3})$$

Dimana; z = Konsentrasi Sebenarnya (mmol/L)

- Konsentrasi 2,5 mmol/L

$$z \left(\frac{\text{mmol}}{\text{L}} \right) = \left[\frac{0,2115 (\text{gr})}{\frac{85,99}{1000}} \right] \times 10^6$$

$$z \left(\frac{\text{mmol}}{\text{L}} \right) = 2,4596 \text{ mmol/L}$$

- Perhitungan konsentrasi 5; 7,5; dan 10 mmol/L dapat dilihat pada tabel berikut:

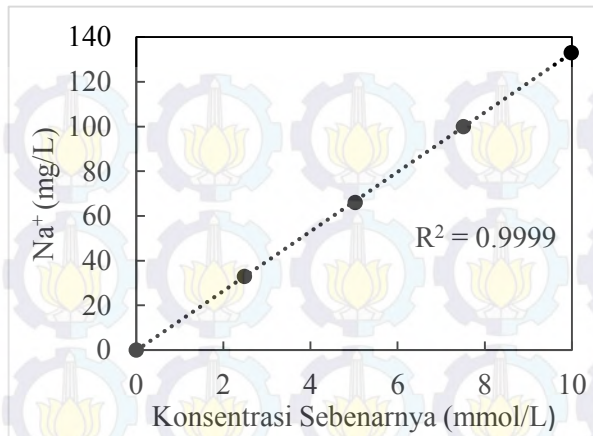
Tabel A.1 Tabel perhitungan konsentrasi NaNO_3 yang sebenarnya

| Konsentrasi larutan (mmol/L) | massa (gram) | Berat Molekul | Konsentrasi Sebenarnya (mmol/L) |
|------------------------------|--------------|---------------|---------------------------------|
| 0 | 0 | 84,99 | 0 |
| 2,5 | 0,2115 | 85,99 | 2,4596 |
| 5 | 0,4275 | 86,99 | 4,9144 |
| 7,5 | 0,6386 | 87,99 | 7,2576 |
| 10 | 0,8489 | 88,99 | 9,5393 |

Tabel A.2 Hasil analisa AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) pada larutan uji NaNO_3

| Konsentrasi Lar. (mmol/L) | Hasil Analisa, Na^+ (mg/L) |
|---------------------------|-------------------------------------|
| 0 | 0 |
| 2,5 | 33 |
| 5 | 66 |
| 7,5 | 100 |
| 10 | 133 |

- Untuk mendapatkan konsentrasi kalibrasi sebenarnya dari NaNO_3 maka **Tabel A.2** dibuat grafik antara konsentrasi larutan sebelum kalibrasi dengan hasil analisa AAS. Sehingga didapatkan grafik sebagai berikut:



Gambar A.1 Grafik kalibrasi standart larutan NaNO_3

Dari grafik diatas mendapatkan persamaan linear sebagai berikut:

$$y = 13,319 x - 0,2483 \dots\dots\dots (A4)$$

Dimana:

x = Konsentrasi kalibrasi larutan sebenarnya (mmol/L)

y = Hasil analisa, Na^+ (mg/L)

Untuk mendapatkan jumlah konsentrasi kalibrasi larutan sebenarnya (x) persamaan (A4) menjadi:

$$x = \frac{y + 0,2483}{13,319} \dots\dots\dots (A5)$$

- Konsentrasi 2,5 mmol/L (Hasil Analisa AAS = 33 mg/L Na^+)

$$x = \frac{33 + 0,2483}{13,319}$$

$$x = 2,4963 \text{ mmol/L}$$

- Untuk perhitungan konsentrasi kalibrasi larutan sebenarnya pada hasil analisa AAS 66; 100; dan 133 mg/L dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel A.3 Perhitungan konsentrasi kalibrasi larutan sebenarnya

| Konsentrasi lar. (mmol/L) | Hasil Analisa AAS, Na ⁺ (mg/L) | Konsentrasi Kalibrasi lar. Sebenarnya (mmol/L) |
|------------------------------|---|---|
| 2,5 | 33 | 2,4963 |
| 5 | 66 | 4,9740 |
| 7,5 | 100 | 7,5267 |
| 10 | 133 | 10,0044 |



APPENDIKS B

PERHITUNGAN *SWELLING DEGREE*, ADSORPSI DAN DESORPSI

➤ Perhitungan Equilibrium *Swelling Degree* Kopolimer Gel

Perhitungan data equilibrium *Swelling Degree* kopolimer gel menggunakan larutan NaNO_3 dengan konsentrasi 10 mmol/L dengan suhu 50°C . Gel kemudian diukur diameternya setiap 3 jam hingga mencapai equilibrium. Data equilibrium *swelling* kopolimer gel dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel B.1 Data equilibrium *swelling* kopolimer gel

| Waktu (Jam) | Diameter rata-rata <i>swelling gel</i> (cm) |
|----------------|--|
| 0 (gel kering) | 0,160 |
| 3 | 0,275 |
| 6 | 0,290 |
| 9 | 0,295 |
| 12 | 0,295 |
| 15 | 0,295 |

Data equilibrium dari **Tabel B.1** digunakan untuk menghitung *swelling degree*. Persamaan *swelling degree* sebagai berikut:

$$[\text{Swelling Degree}] = \frac{d_{\text{swell}}^3}{d_{\text{dry}}^3} \dots\dots\dots (\text{B1})$$

Dimana:

d_{swell} = diameter gel yang mencapai equilibrium *swelling* pada suhu tertentu (cm).

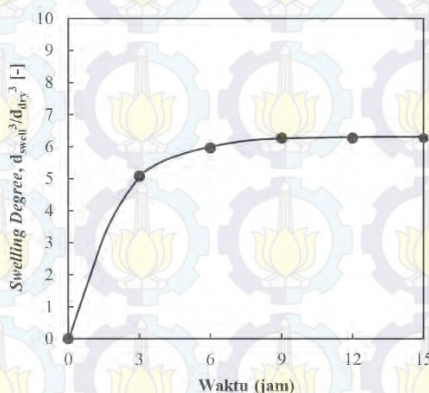
d_{dry} = diameter dari gel kering (cm).

Sehingga, perhitungan hasil *swelling degree* pada setiap 3 jam hingga mencapai equilibrium dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel B.2 Perhitungan equilibrium *swelling degree*

| Waktu (Jam) | [<i>Swelling Degree</i>] |
|-------------|----------------------------|
| 0 | 0 |
| 3 | 5,0774 |
| 6 | 5,9543 |
| 9 | 6,2677 |
| 12 | 6,2677 |
| 15 | 6,2677 |

Dari **Tabel B.2** diatas dibuat grafik equilibrium antara waktu (jam) dengan *swelling degree*. Dan didapatkan grafik sebagai berikut:



Gambar B.1 Pengaruh waktu terhadap *swelling degree* dari NIPAM-co-DMAAPS gel dalam larutan NaNO_3 10 mmol/L pada suhu 50°C

Dari grafik diatas terlihat bahwa pada 9 jam hingga 15 jam terjadi equilibrium *swelling degree*. Sehingga, dapat digunakan sebagai acuan waktu untuk eksperimen *swelling* selanjutnya pada waktu 12 jam.

➤ **Perhitungan *Swelling Degree* Kopolimer Gel**

Perhitungan *swelling degree* kopolimer gel menggunakan persamaan (B1) dimana terlebih dahulu mengukur diameter silinder kopolimer gel pada waktu mengalami *swell* pada suhu tertentu. Hasil yang didapatkan berupa grafik antara konsentrasi (mmol/L) dengan *swelling degree* dan grafik antara suhu (°C) dengan *swelling degree*.

Berikut ini merupakan tabel data perhitungan berbagai suhu (°C) terhadap *swelling degree*.

Tabel B.3 Perhitungan *swelling degree* dari 10 mmol/L pada berbagai suhu

| Suhu (°C) | Diameter rata-rata <i>swelling gel</i> (cm) | [<i>Swelling Degree</i>] |
|-----------|---|----------------------------|
| 10 | 0,247 | 3,6790 |
| 30 | 0,277 | 5,1889 |
| 50 | 0,293 | 6,1411 |

Tabel B.4 Perhitungan *swelling degree* dari 7,5 mmol/L pada berbagai suhu

| Suhu (°C) | Diameter rata-rata <i>swelling gel</i> (cm) | [<i>Swelling Degree</i>] |
|-----------|---|----------------------------|
| 10 | 0,240 | 3,3750 |
| 30 | 0,270 | 4,8054 |
| 50 | 0,283 | 5,5335 |

Tabel B.5 Perhitungan *swelling degree* dari 5 mmol/L pada berbagai suhu

| Suhu (°C) | Diameter rata-rata <i>swelling gel</i> (cm) | [<i>Swelling Degree</i>] |
|-----------|---|----------------------------|
| 10 | 0,240 | 3,3750 |
| 30 | 0,263 | 4,4413 |
| 50 | 0,273 | 4,9674 |

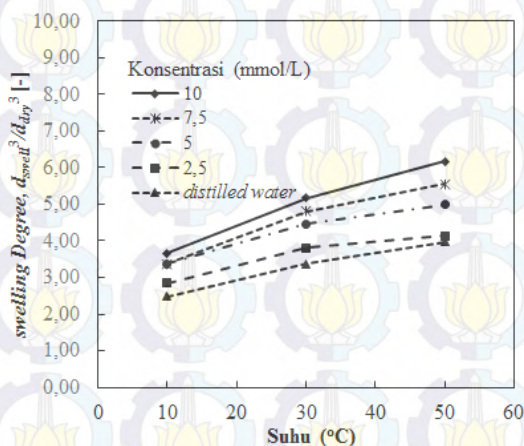
Tabel B.6 Perhitungan *swelling degree* dari 2,5 mmol/L pada berbagai suhu

| Suhu (°C) | Diameter rata-rata <i>swelling gel</i> (cm) | [<i>Swelling Degree</i>] |
|-----------|---|----------------------------|
| 10 | 0,227 | 2,8557 |
| 30 | 0,250 | 3,8147 |
| 50 | 0,257 | 4,1442 |

Tabel B.7 Perhitungan *swelling degree* dari *distilled water* (0 mmol/L) pada berbagai suhu

| Suhu (°C) | Diameter rata-rata <i>swelling gel</i> (cm) | [<i>Swelling Degree</i>] |
|-----------|---|----------------------------|
| 10 | 0,217 | 2,4832 |
| 30 | 0,240 | 3,3750 |
| 50 | 0,253 | 3,9693 |

Dari tabel diatas didapatkan grafik berbagai suhu (°C) terhadap *swelling degree* sebagai berikut:



Gambar B.2 Pengaruh suhu terhadap *swelling degree* dari NIPAM-co-DMAAPS gel pada berbagai konsentrasi

Selanjutnya merupakan data tabel perhitungan berbagai konsentrasi (mmol/L) terhadap *swelling degree* sebagai berikut:

Tabel B.8 Perhitungan *swelling degree* dari 10°C pada berbagai konsentrasi

| Konsentrasi (mmol/L) | Diameter rata-rata <i>swelling gel</i> (cm) | [<i>Swelling Degree</i>] |
|----------------------|---|----------------------------|
| 0 | 0,217 | 2,4832 |
| 2,5 | 0,227 | 2,8557 |
| 5 | 0,240 | 3,3750 |
| 7,5 | 0,240 | 3,3750 |
| 10 | 0,247 | 3,6790 |

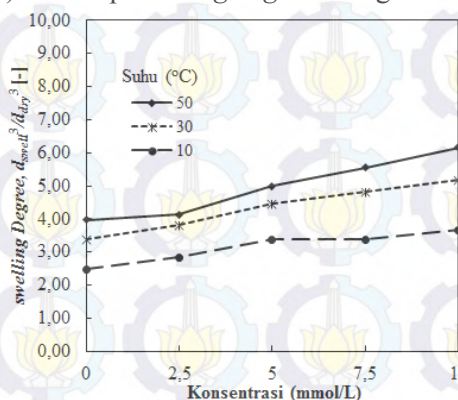
Tabel B.9 Perhitungan *swelling degree* dari 30°C pada berbagai konsentrasi

| Konsentrasi (mmol/L) | Diameter rata-rata <i>swelling gel</i> (cm) | [<i>Swelling Degree</i>] |
|----------------------|---|----------------------------|
| 0 | 0,240 | 3,3750 |
| 2,5 | 0,250 | 3,8147 |
| 5 | 0,263 | 4,4413 |
| 7,5 | 0,270 | 4,8054 |
| 10 | 0,277 | 5,1889 |

Tabel B.10 Perhitungan *swelling degree* dari 50°C pada berbagai konsentrasi

| Konsentrasi (mmol/L) | Diameter rata-rata <i>swelling gel</i> (cm) | [<i>Swelling Degree</i>] |
|----------------------|---|----------------------------|
| 0 | 0,253 | 3,9693 |
| 2,5 | 0,257 | 4,1442 |
| 5 | 0,273 | 4,9674 |
| 7,5 | 0,283 | 5,5335 |
| 10 | 0,293 | 6,1411 |

Dari tabel-tabel diatas didapatkan grafik berbagai konsentrasi (mmol/L) terhadap *swelling degree* sebagai berikut:



Gambar B.3 Pengaruh konsentrasi terhadap *swelling degree* dari NIPAM-co-DMAAPS gel

➤ Perhitungan Equilibrium Adsorpsi dan Desorpsi Kopolimer Gel

Perhitungan data equilibrium adsorpsi dan desorpsi dilakukan dengan menggunakan larutan NaNO_3 dengan konsentrasi 10 mmol/L pada suhu 50°C . Sampel diuji menggunakan JAR TEST, dan setiap 3 jam hingga 15 jam sampel dilakukan analisa ASS (*Atomic Absorption Spectroscopy*).

Hasil analisa AAS dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel B.11 Hasil analisa ASS pada berbagai waktu

| Waktu (Jam) | Hasil Analisa AAS, Na^+ (mg/L) |
|-------------|---|
| 0 | 0 |
| 3 | 20 |
| 6 | 29 |
| 9 | 32 |
| 12 | 32 |
| 15 | 32 |

Dari **Tabel B.11** diatas dimasukkan kedalam persamaan (A5) dari APPENDIKS A untuk mengetahui konsentrasi dari larutan uji NaNO_3 yang teradsorpsi oleh kopolimer gel pada setiap 3 jam. Sehingga didapatkan hasil konsentrasi larutan uji yang teradsorpsi oleh kopolimer gel setiap 3 jam dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel B.12 Perhitungan konsentrasi akhir larutan uji NaNO_3 terhadap berbagai waktu

| Waktu (Jam) | Konsentrasi Akhir (mmol/L) |
|-------------|----------------------------|
| 0 | 0 |
| 3 | 1,5203 |
| 6 | 2,1960 |
| 9 | 2,4212 |
| 12 | 2,4212 |
| 15 | 2,4212 |

Equilibrium adsorpsi dapat diketahui melalui perhitungan jumlah kation yang teradsorpsi menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = \frac{(C_o - C)V}{m} \dots\dots\dots(B2)$$

Dimana:

Q = Jumlah Kation yang teradsorpsi

C_o = Konsentrasi Kalibrasi Sebenarnya (mmol/L)

C = Konsentrasi Akhir (mmol/L)

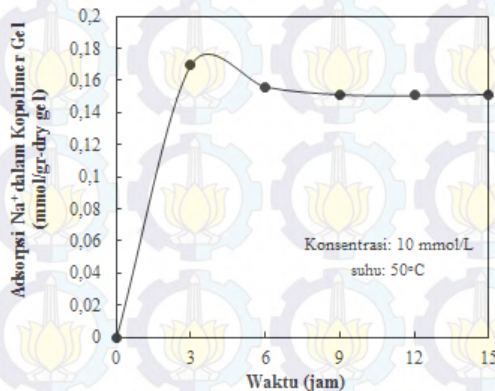
m = massa (gram)

Dari persamaan diatas didapatkan perhitungan jumlah kation yang teradsorpsi terlihat pada tabel berikut:

Tabel B.13 Perhitungan Equilibrium Adsorpsi pada berbagai waktu

| Waktu (jam) | C ₀ (mmol/L) | C (mmol/L) | V (L) | m (gram) | Q |
|-------------|-------------------------|------------|-------|----------|--------|
| 0 | 10,0044 | 0 | 0,02 | 0 | 0 |
| 3 | 10,0044 | 1,5203 | 0,02 | 1,0004 | 0,1696 |
| 6 | 10,0044 | 2,1960 | 0,02 | 1,0002 | 0,1561 |
| 9 | 10,0044 | 2,4212 | 0,02 | 1,0025 | 0,1513 |
| 12 | 10,0044 | 2,4212 | 0,02 | 1,0059 | 0,1508 |
| 15 | 10,0044 | 2,4212 | 0,02 | 1,0020 | 0,1514 |

Dari **Tabel B.13** diatas didapatkan grafik equilibrium adsorpsi sebagai berikut:



Gambar B.4 Pengaruh waktu terhadap adsorpsi dari NIPAM-*co*-DMAAPS gel

Dari grafik diatas terlihat bahwa pada waktu 9 jam sampai 15 jam jumlah kation yang diadsorpsi oleh kopolimer gel mengalami equilibrium. Sehingga, data equilibrium kopolimer gel untuk eksperimen diambil pada waktu 12 jam.

➤ **Perhitungan Adsorpsi Kopolimer Gel**

Persamaan (A5) dan persamaan (B2) digunakan untuk perhitungan adsorpsi kopolimer gel. Hasil yang didapatkan berupa grafik antara suhu (T) terhadap jumlah kation yang teradsorpsi (Q) dan konsentrasi (mmol/L) terhadap jumlah kation yang teradsorpsi (Q).

Berikut ini merupakan tabel data perhitungan adsorpsi berupa suhu pada berbagai konsentrasi.

Tabel B.14 Perhitungan jumlah ion yang teradsorpsi (Q) pada 10 mmol/L terhadap berbagai suhu

| T (°C) | y (mg/L) | C _o (mmol/L) | C (mmol/L) | V (L) | m (gram) | Q |
|-----------|-------------|----------------------------|---------------|----------|-------------|--------|
| 10 | 30 | 10,0044 | 2,2711 | 0,02 | 1,0024 | 0,1543 |
| 30 | 30 | 10,0044 | 2,2711 | 0,02 | 1,0031 | 0,1542 |
| 50 | 32 | 10,0044 | 2,4212 | 0,02 | 1,0012 | 0,1515 |

Tabel B.15 Perhitungan jumlah ion yang teradsorpsi (Q) pada 7,5 mmol/L terhadap berbagai suhu

| T (°C) | y (mg/L) | C _o (mmol/L) | C (mmol/L) | V (L) | m (gram) | Q |
|-----------|-------------|----------------------------|---------------|----------|-------------|--------|
| 10 | 25 | 7,5267 | 1,8957 | 0,02 | 1,001 | 0,1125 |
| 30 | 25 | 7,5267 | 1,8957 | 0,02 | 1,0037 | 0,1122 |
| 50 | 27 | 7,5267 | 2,0458 | 0,02 | 1,0006 | 0,1096 |

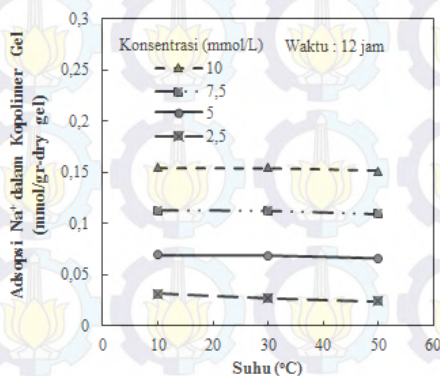
Tabel B.16 Perhitungan jumlah ion yang teradsorpsi (Q) pada 5 mmol/L terhadap berbagai suhu

| T (°C) | y (mg/L) | C _o (mmol/L) | C (mmol/L) | V (L) | m (gram) | Q |
|-----------|-------------|----------------------------|---------------|----------|-------------|--------|
| 10 | 20 | 4,9740 | 1,5203 | 0,02 | 1,0020 | 0,0689 |
| 30 | 20 | 4,9740 | 1,5203 | 0,02 | 1,0071 | 0,0686 |
| 50 | 22 | 4,9740 | 1,6704 | 0,02 | 1,0028 | 0,0659 |

Tabel B.17 Perhitungan jumlah ion yang teradsorpsi (Q) pada 2,5 mmol/L terhadap berbagai suhu

| T (°C) | y (mg/L) | C _o (mmol/L) | C (mmol/L) | V (L) | m (gram) | Q |
|-----------|-------------|----------------------------|---------------|----------|-------------|--------|
| 10 | 12 | 2,4963 | 0,9196 | 0,02 | 1,0020 | 0,0315 |
| 30 | 15 | 2,4963 | 1,1449 | 0,02 | 1,0014 | 0,0270 |
| 50 | 17 | 2,4963 | 1,2950 | 0,02 | 1,0052 | 0,0239 |

Dari tabel-tabel diatas didapatkan grafik suhu (°C) terhadap jumlah kation yang teradsorpsi (Q) sebagai berikut:



Gambar B.5 Pengaruh suhu terhadap jumlah kation yang teradsorpsi kopolimer gel pada berbagai konsentrasi

Selanjutnya merupakan tabel data perhitungan berupa konsentrasi pada berbagai suhu

Tabel B.18 Perhitungan jumlah ion yang teradsorpsi (Q) pada suhu 10°C terhadap berbagai konsentrasi

| C sebenarnya (mmol/L) | y (mg/L) | C _o (mmol/L) | C (mmol/L) | V (L) | m (gram) | Q |
|-----------------------|----------|-------------------------|------------|-------|----------|--------|
| 2,5 | 12 | 2,4963 | 0,9196 | 0,02 | 1,0020 | 0,0315 |
| 5 | 20 | 4,9740 | 1,5203 | 0,02 | 1,0020 | 0,0689 |
| 7,5 | 25 | 7,5267 | 1,8957 | 0,02 | 1,0010 | 0,1125 |
| 10 | 30 | 10,0044 | 2,2711 | 0,02 | 1,0024 | 0,1543 |

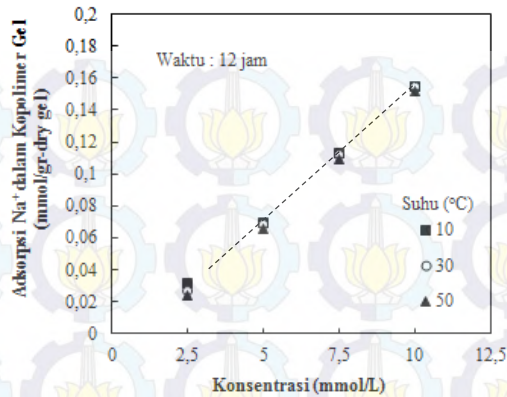
Tabel B.19 Perhitungan jumlah ion yang teradsorpsi (Q) pada suhu 30°C terhadap berbagai konsentrasi

| C sebenarnya (mmol/L) | y (mg/L) | C _o (mmol/L) | C (mmol/L) | V (L) | m (gram) | Q |
|-----------------------|----------|-------------------------|------------|-------|----------|--------|
| 2,5 | 15 | 2,4963 | 1,1449 | 0,02 | 1,0014 | 0,0270 |
| 5 | 20 | 4,9740 | 1,5203 | 0,02 | 1,0071 | 0,0686 |
| 7,5 | 25 | 7,5267 | 1,8957 | 0,02 | 1,0037 | 0,1122 |
| 10 | 30 | 10,0044 | 2,2711 | 0,02 | 1,0031 | 0,1542 |

Tabel B.20 Perhitungan jumlah ion yang teradsorpsi (Q) pada suhu 50°C terhadap berbagai konsentrasi

| C sebenarnya (mmol/L) | y (mg/L) | C _o (mmol/L) | C (mmol/L) | V (L) | m (gram) | Q |
|-----------------------|----------|-------------------------|------------|-------|----------|--------|
| 2,5 | 17 | 2,4963 | 1,2950 | 0,02 | 1,0052 | 0,0239 |
| 5 | 22 | 4,9740 | 1,6704 | 0,02 | 1,0028 | 0,0659 |
| 7,5 | 27 | 7,5267 | 2,0458 | 0,02 | 1,0006 | 0,1096 |
| 10 | 32 | 10,0044 | 2,4212 | 0,02 | 1,0012 | 0,1515 |

Dari tabel-tabel diatas didapatkan grafik konsentrasi (mmol/L) dengan jumlah kation yang teradsorpsi (Q) sebagai berikut:



Gambar B.6 Pengaruh konsentrasi larutan terhadap adsorpsi ion dalam NIPAM-*co*-DMAAPS gel pada berbagai suhu

➤ **Perhitungan Desorpsi Kopolimer Gel**

Perhitungan desorpsi kopolimer gel menggunakan persamaan (A5) serta persamaan desorpsi yaitu sebagai berikut:

$$Q_d = \frac{C V}{m} \dots\dots\dots (B3)$$

Dimana:

- Q_d = Jumlah kation yang terdesorpsi
- C = Konsentrasi akhir (mmol/L)
- V = Volume (L)
- m = massa (gram)

Dari persamaan-persamaan diatas didapatkan hasil berupa data perhitungan jumlah kation yang terdesorpsi. Data tersebut digunakan untuk membuat grafik antara suhu (°C) terhadap jumlah kation yang terdesorpsi (Q_d) dan konsentrasi (mmol/L) terhadap jumlah kation yang terdesorpsi (Q_d).

Berikut ini merupakan tabel data perhitungan desorpsi berupa konsentrasi pada berbagai suhu.

Tabel B.21 Perhitungan jumlah ion yang terdesorpsi (Q_d) pada 10 mmol/L terhadap berbagai suhu

| T (°C) | y (mg/L) | C (mmol/L) | V (L) | m (gram) | Q_d |
|-----------|-------------|---------------|----------|-------------|--------|
| 10 | 20 | 1,5203 | 0,018 | 0,9007 | 0,0304 |
| 30 | 27 | 2,0458 | 0,018 | 0,9005 | 0,0409 |
| 50 | 50 | 3,7727 | 0,018 | 0,9001 | 0,0754 |

Tabel B.22 Perhitungan jumlah ion yang terdesorpsi (Q_d) pada 7,5 mmol/L terhadap berbagai suhu

| T (°C) | y (mg/L) | C (mmol/L) | V (L) | m (gram) | Q_d |
|-----------|-------------|---------------|----------|-------------|--------|
| 10 | 15 | 1,1449 | 0,018 | 0,9002 | 0,0229 |
| 30 | 22 | 1,6704 | 0,018 | 0,9003 | 0,0334 |
| 50 | 30 | 2,2711 | 0,018 | 0,9007 | 0,0454 |

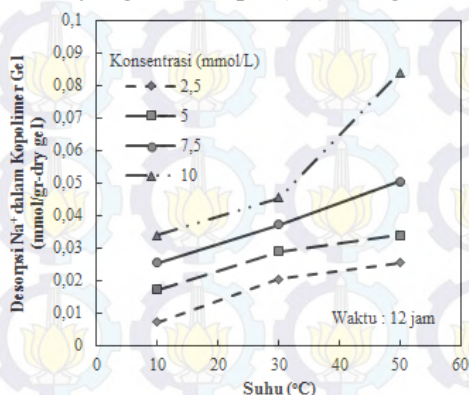
Tabel B.23 Perhitungan jumlah ion yang terdesorpsi (Q_d) pada 5 mmol/L terhadap berbagai suhu

| T (°C) | y (mg/L) | C (mmol/L) | V (L) | m (gram) | Q_d |
|-----------|-------------|---------------|----------|-------------|--------|
| 10 | 10 | 0,7694 | 0,018 | 0,9006 | 0,0154 |
| 30 | 17 | 1,2950 | 0,018 | 0,9000 | 0,0259 |
| 50 | 20 | 1,5203 | 0,018 | 0,9003 | 0,0304 |

Tabel B.24 Perhitungan jumlah ion yang terdesorpsi (Q_d) pada 2,5 mmol/L terhadap berbagai suhu

| T (°C) | y (mg/L) | C (mmol/L) | V (L) | m (gram) | Q_d |
|-----------|-------------|---------------|----------|-------------|--------|
| 10 | 4 | 0,3190 | 0,018 | 0,9007 | 0,0064 |
| 30 | 12 | 0,9196 | 0,018 | 0,9009 | 0,0184 |
| 50 | 15 | 1,1449 | 0,018 | 0,9003 | 0,0229 |

Dari tabel-tabel diatas didapatkan grafi suhu ($^{\circ}\text{C}$) dengan jumlah kation yang terdesorpsi (Q_d) sebagai berikut:



Gambar B.7 Pengaruh suhu terhadap desorpsi ion dari NIPAM-co-DMAAPS gel pada berbagai konsentrasi

Selanjutnya merupakan tabel data perhitungan desorpsi berupa konsentrasi pada berbagai suhu.

Tabel B.25 Perhitungan jumlah ion yang terdesorpsi (Q_d) pada 10°C terhadap berbagai konsentrasi

| C sebenarnya (mmol/L) | y (mg/L) | C (mmol/L) | V (L) | m (gram) | Q_d |
|-----------------------|----------|------------|-------|----------|--------|
| 2,5 | 4 | 0,3190 | 0,018 | 0,9007 | 0,0064 |
| 5 | 10 | 0,7694 | 0,018 | 0,9006 | 0,0154 |
| 7,5 | 15 | 1,1449 | 0,018 | 0,9002 | 0,0229 |
| 10 | 20 | 1,5203 | 0,018 | 0,9007 | 0,0304 |

Tabel B.26 Perhitungan jumlah ion yang terdesorpsi (Q_d) pada 30°C terhadap berbagai konsentrasi

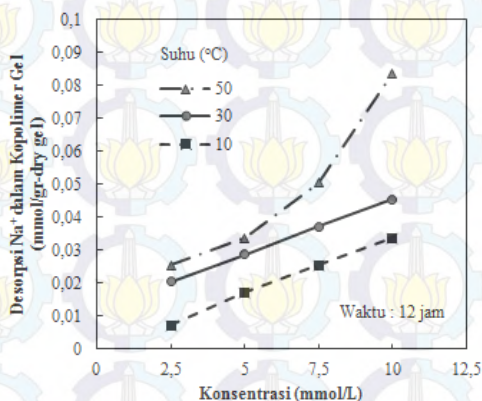
| C sebenarnya (mmol/L) | y (mg/L) | C (mmol/L) | V (L) | m (gram) | Q_d |
|-----------------------|----------|------------|-------|----------|--------|
| 2,5 | 12 | 0,9196 | 0,018 | 0,9009 | 0,0184 |
| 5 | 17 | 1,2950 | 0,018 | 0,9000 | 0,0259 |

| | | | | | |
|-----|----|--------|-------|--------|--------|
| 7,5 | 22 | 1,6704 | 0,018 | 0,9003 | 0,0334 |
| 10 | 27 | 2,0458 | 0,018 | 0,9005 | 0,0409 |

Tabel B.27 Perhitungan jumlah ion yang terdesorpsi (Q_d) pada 50°C terhadap berbagai konsentrasi

| C sebenarnya (mmol/L) | y (mg/L) | C (mmol/L) | V (L) | m (gram) | Q_d |
|-----------------------|----------|------------|-------|----------|--------|
| 2,5 | 15 | 1,1449 | 0,018 | 0,9003 | 0,0229 |
| 5 | 20 | 1,5203 | 0,018 | 0,9006 | 0,0304 |
| 7,5 | 30 | 2,2711 | 0,018 | 0,9003 | 0,0454 |
| 10 | 50 | 3,7727 | 0,018 | 0,9005 | 0,0754 |

Dari tabel-tabel data perhitungan diatas didapatkan grafik konsentrasi (mmol/L) terhadap jumlah kation yang teradsorpsi (Q_d) sebagai berikut:



Gambar B.7 Pengaruh konsentrasi larutan terhadap desorpsi ion dari NIPAM-co-DMAAPS gel pada berbagai suhu

➤ **Perhitungan Persen (%) Desorpsi**

Perhitungan persen (%) desorpsi didapatkan berdasarkan nilai perbandingan desorpsi terhadap adsorpsi. Persamaan persen (%) desorpsi sebagai berikut.

$$\% \text{ Desorpsi} = \frac{Q_d}{Q} \times 100\% \dots\dots\dots (B4)$$

Dimana:

Q_d = Jumlah kation yang terdesorpsi

Q = Jumlah kation yang teradsorpsi

Dari persamaan diatas didapatkan perhitungan persen desorpsi seperti pada tabel berikut:

Tabel B.28 Perhitungan persen desorpsi (% Q_d) pada 2,5 mmol/L terhadap berbagai suhu

| Suhu (°C) | Q | Q_d | % Q_d |
|-----------|--------|--------|---------|
| 10 | 0,0315 | 0,0064 | 20,2547 |
| 30 | 0,0270 | 0,0184 | 68,0733 |
| 50 | 0,0239 | 0,0229 | 95,7655 |

Tabel B.29 Perhitungan persen desorpsi (% Q_d) pada 5 mmol/L terhadap berbagai suhu

| Suhu (°C) | Q | Q_d | % Q_d |
|-----------|--------|--------|---------|
| 10 | 0,0689 | 0,0154 | 22,3086 |
| 30 | 0,0686 | 0,0259 | 37,7625 |
| 50 | 0,0659 | 0,0304 | 46,1323 |

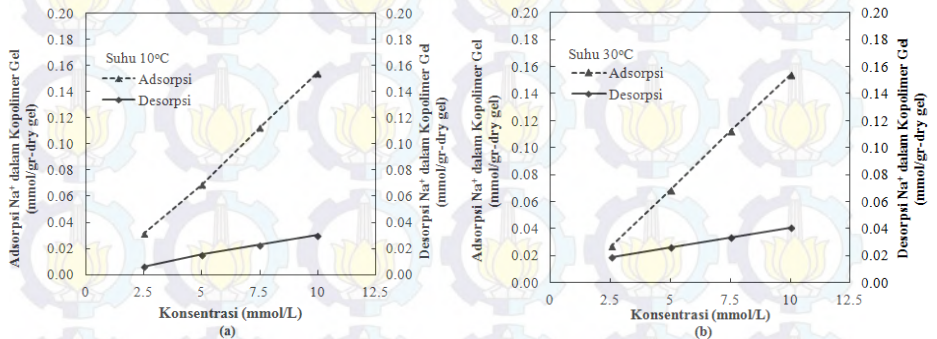
Tabel B.30 Perhitungan persen desorpsi (%Q_d) pada 7.5 mmol/L terhadap berbagai suhu

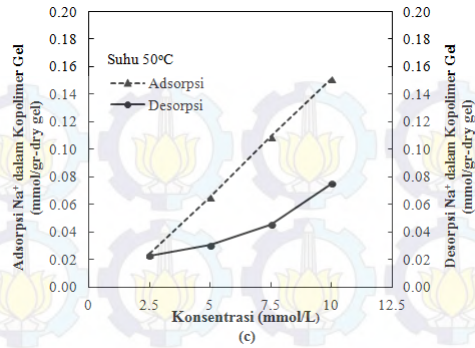
| Suhu (°C) | Q | Q _d | % Q _d |
|-----------|--------|----------------|------------------|
| 10 | 0,1125 | 0,0229 | 20,3469 |
| 30 | 0,1122 | 0,0334 | 29,7642 |
| 50 | 0,1096 | 0,0454 | 41,4287 |

Tabel B.31 Perhitungan persen desorpsi (%Q_d) pada 10 mmol/L terhadap berbagai suhu

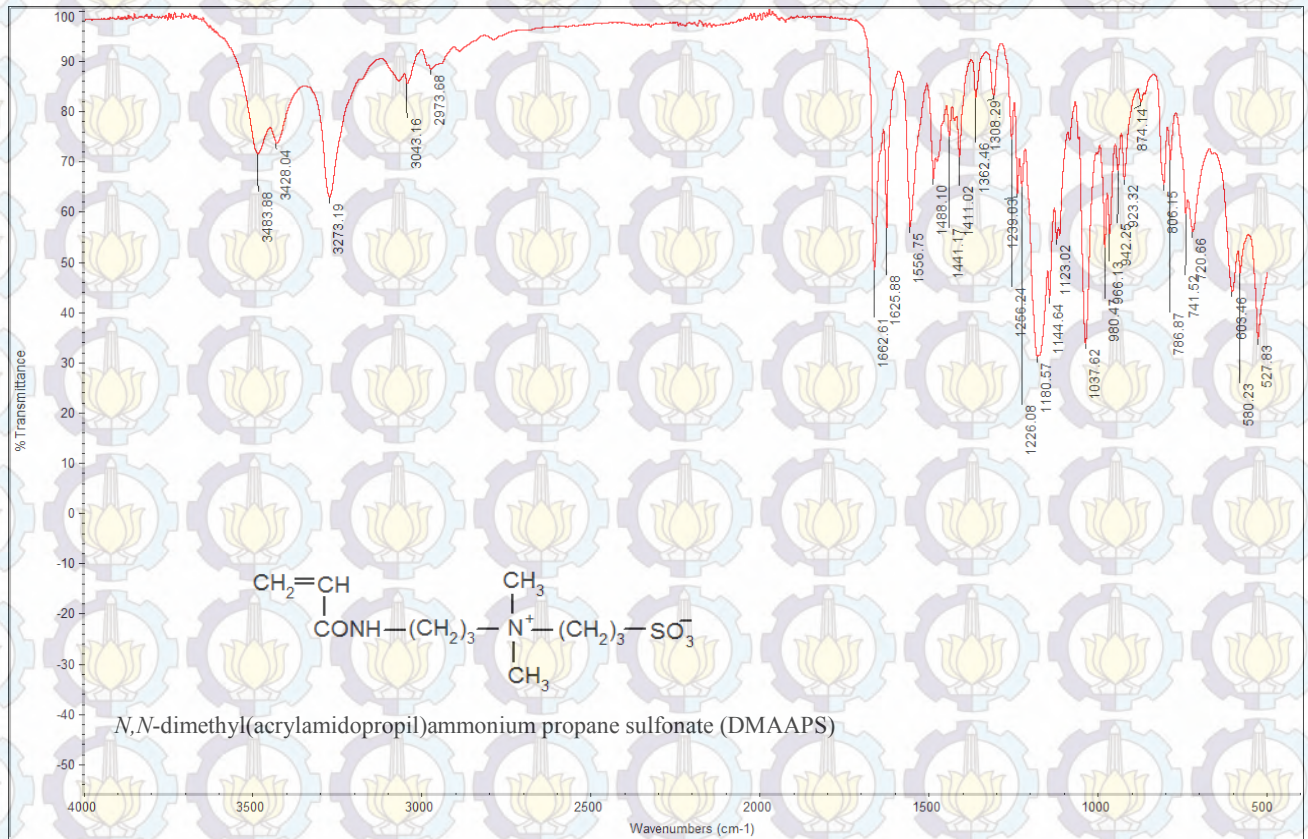
| Suhu (°C) | Q | Q _d | % Q _d |
|-----------|--------|----------------|------------------|
| 10 | 0,1543 | 0,0304 | 19,6904 |
| 30 | 0,1542 | 0,0409 | 26,5219 |
| 50 | 0,1515 | 0,0754 | 49,8050 |

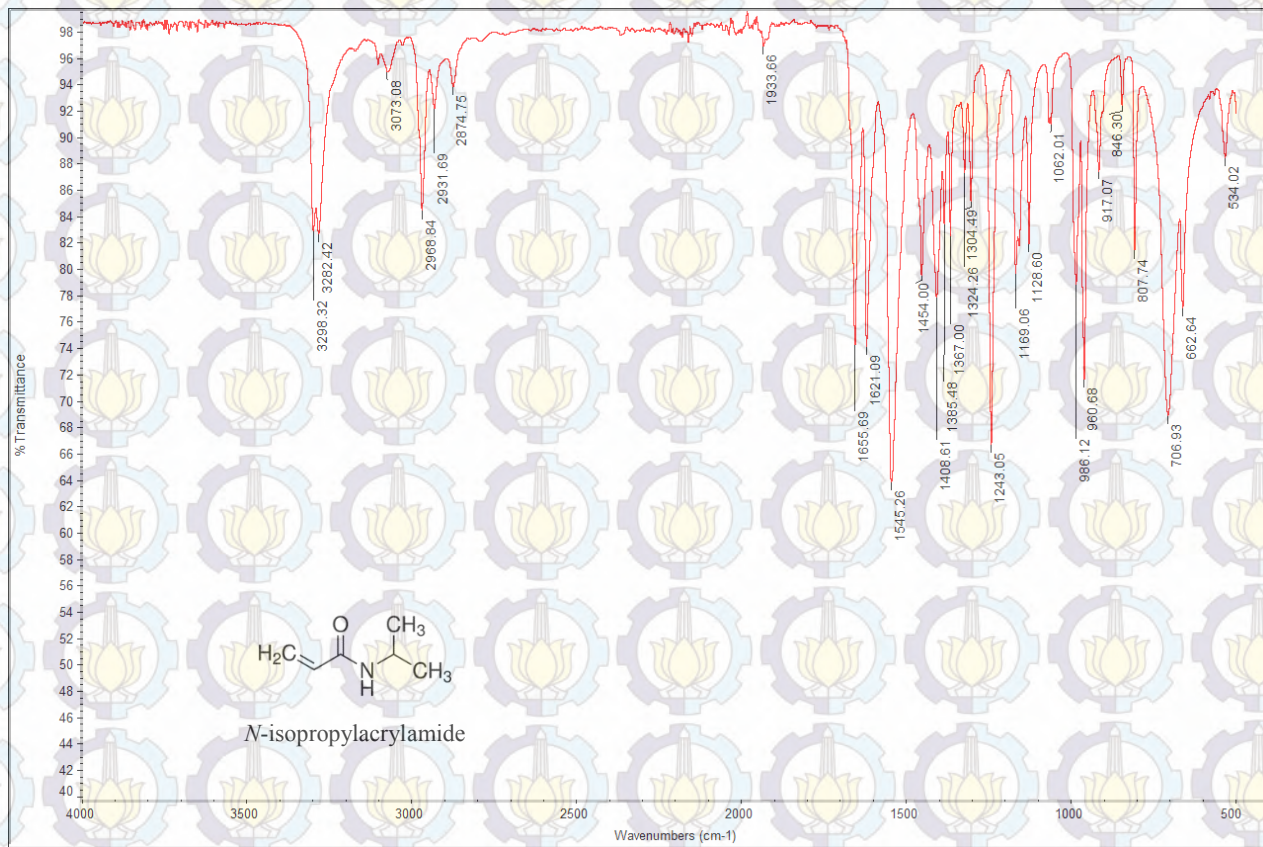
Dari tabel-tabel diatas didapatkan grafik adsorpsi terhadap desorpsi kopolimer gel sebagai berikut:

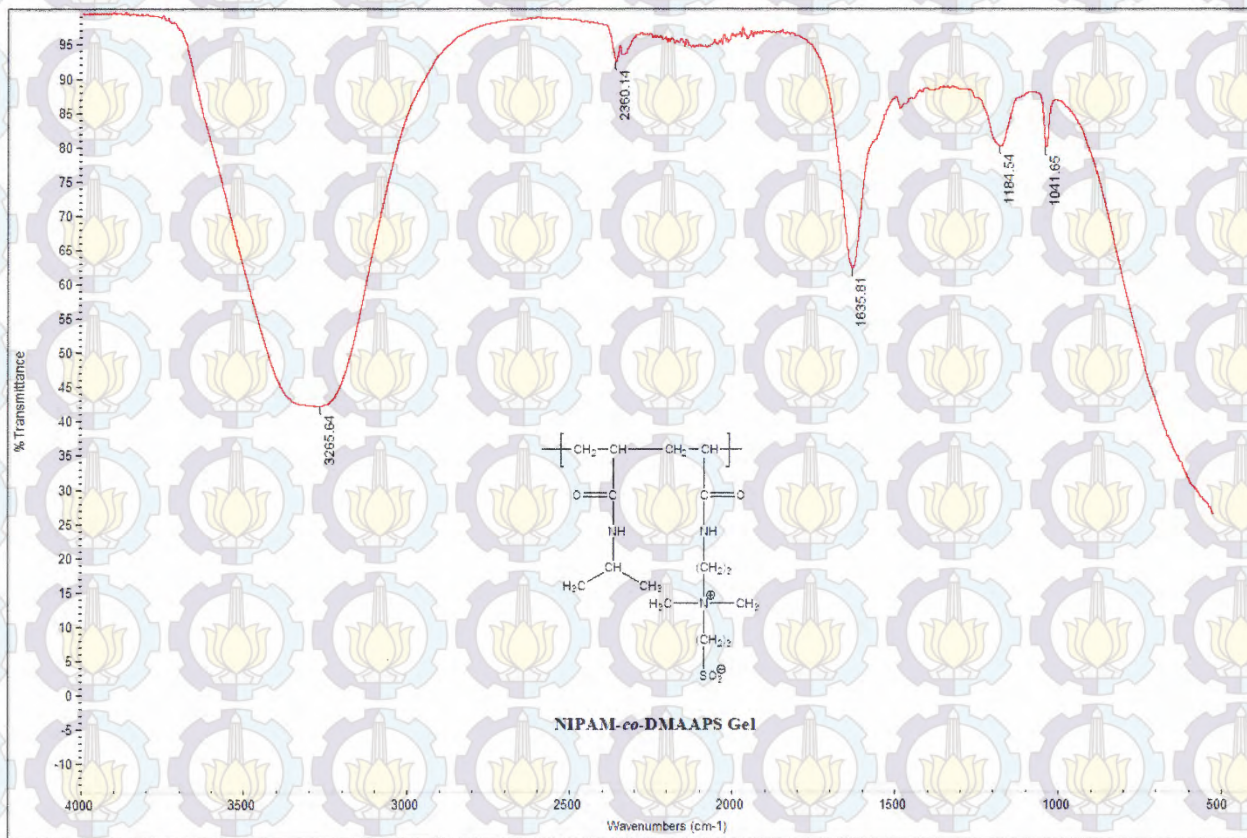




Gambar B.8 Pengaruh adsorpsi terhadap desorpsi ion pada NIPAM-co-DMAAPS berbagai konsentrasi pada suhu: (a). 10°C; (b). 30°C; dan (c). 50°C.









KETERANGAN HASIL ANALISA

No.27/LTAKI/XII/2015

Terima dari : **Sdr Desi**
Mhs.T.Kimia FTI-ITS
Surabaya
Jenis contoh : Cairan
U.analisa : Na
Diterima tgl. : 4 Desember 2015

| Kode contoh | Hasil analisa | Methode analisa |
|-------------|---------------|-----------------|
| | Na ,mg/l | |
| NaNO3 2,5M | 33 | AAS |
| NaNO3 5M | 66 | |
| NaNO3 7,5M | 100 | |
| NaNO3 10M | 133 | |

Keterangan :
Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima.
Surabaya, 4 Desember 2015


Prof. Dr. Ir. Achmad Roesvadi, DEA
Kepala Laboratorium TAKI



KETERANGAN HASIL ANALISA

No.47/L.TAKI/XII/2015

Terima dari : **Sdr Desi**
Mhs.T.Kimia FTI-ITS
Surabaya
Jenis contoh : Cairan
U.analisa : Na
Diterima tgl. : 14 Desember 2015

| Kode contoh | Hasil analisa Na ,mg/l | Kode contoh | Hasil analisa Na ,mg/l |
|-------------|---------------------------|-------------|---------------------------|
| 2,5M 50°C | 17 | Desorpsi : | |
| 5M 50°C | 22 | 2,5M 50°C | 15 |
| 7,5M 50°C | 27 | 5M 50°C | 20 |
| 10M 50°C | 32 | 7,5M 50°C | 30 |
| | | 10M 50°C | 50 |
| 2,5M 30°C | 15 | Desorpsi : | |
| 5M 30°C | 20 | 2,5M 30°C | 12 |
| 7,5M 30°C | 25 | 5M 30°C | 17 |
| 10M 30°C | 30 | 7,5M 30°C | 22 |
| | | 10M 30°C | 27 |
| 2,5M 10°C | 12 | Desorpsi : | |
| 5M 10°C | 20 | 2,5M 10°C | 4 |
| 7,5M 10°C | 25 | 5M 10°C | 10 |
| 10M 10°C | 30 | 7,5M 10°C | 15 |
| | | 10M 10°C | 20 |
| 3 Jam | | 3 Jam | 20 |
| 3 Jam | 14 | | |
| 6 Jam | 29 | | |
| 9 Jam | 32 | | |
| 12 Jam | 32 | | |
| 15 Jam | 32 | | |

Keterangan :
Analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima.
Surabaya 31 Desember 2015

Prof. Dr. Ir. Achmad Roesyadi, DEA
Kepala Laboratorium TAKI

BIODATA PENULIS



JOVONIO BOSCO CHU GOMES AMARAL, mahasiswa kelahiran Oecusse-Timor Leste, 22 Januari 1992 merupakan anak pertama dari 4 bersaudara dari pasangan Augusto Panao Amaral dan Joana Natalia Amado de Jesus Gomes. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN 8 Fatumeta-Dili, SMPN 4 Fatumeta-Dili, dan SMAK *Colégio de São José* Dili. Pada tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikan sarjana di jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, ITS Surabaya. Penulis melakukan penelitian di Laboratorium Teknologi Material. Melalui bimbingan Ibu Dr. Eva Oktavia Ningrum, ST., MS. Dan Ibu Prida Novarita Trisanti, ST., M.T, penulis bisa menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh Perubahan Suhu Pada Properti Adsorpsi dan Desorpsi *Thermosensitive* NIPAM-co-DMAAPS Gel”**.

Contact Person

Email : jovaniochu@gmail.com



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



DESI RATNASARI, lahir pada 17 Desember 1992 di Blitar - Jawa Timur. Menempuh pendidikan formal di SDN Tegalrejo 1 - Selopuro, SMPN 2 Wlingi - Blitar, dan SMAN 1 Talun - Blitar. Pada tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, di Jurusan S - 1 Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, ITS. Semasa di kampus perjuangan ITS, penulis aktif di kegiatan kemahasiswaan sebagai staff

Dana dan Usaha, Jamaah Masjid Manarul Ilmi (JMMI) ITS periode 2012/2013 serta sebagai staff Dana dan Usaha, Kajian Islam Nurul Ilmi (KINI). Penulis masih aktif sebagai staff Keputrian, Kajian Islam Nurul Ilmi (KINI) pada periode 2013/2014. Dalam periode waktu yang sama penulis resmi menjadi anggota penuh Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Korps Sukarela PMI ITS (KSR PMI-ITS) dan menjadi sekertaris bidang Logistik di KSR PMI-ITS. Pada tugas akhir S - 1 ini, penulis melakukan penelitian tentang pengaruh perubahan suhu pada properti adsorpsi dan desorpsi *thermosensitive* NIPAM-co-DMAAPS gel di Laboratorium Teknologi Material.

Contact Person

Email : desi11@mhs.chem-eng.its.ac.id
desisari1712@gmail.com



“Halaman ini sengaja dikosongkan”